

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

VYUŽITÍ INTERNETOVÉHO PŘÍSTUPU K PŘÍSTROJOVÉ TECHNICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

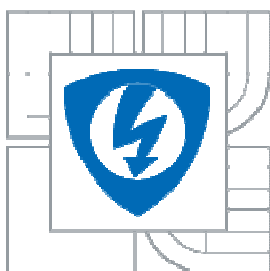
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ PEŠINA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

VYUŽITÍ INTERNETOVÉHO PŘÍSTUPU K PŘÍSTROJOVÉ TECHNICE

USAGE OF INTERNET ACCESS TO LABORATORY INSTRUMENTATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

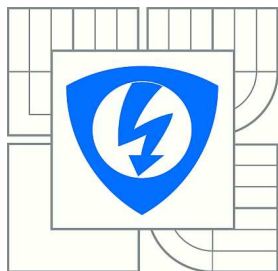
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ PEŠINA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN FRK, Ph.D.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Tomáš Pešina
Ročník: 3

ID: 101653
Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Využití internetového přístupu k přístrojové technice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti a způsoby připojení měřicího vybavení k výpočetní technice a do Ethernetové sítě, případně i do Internetu. Seznamte se s různými programovacími jazyky (např. Vee Pro, LabVIEW, C++ apod.), jejichž pomocí lze komunikovat s přístrojovým vybavením. Vytvořte koncepci struktury laboratorní Ethernetové sítě zahrnující veškeré měřicí přístrojové vybavení, včetně aktivních komunikačních prvků, které je k dispozici na Ústavu elektrotechnologie. Síť prakticky realizujte v laboratořích elektrotechnických materiálů. V libovolném programovacím prostředí vytvořte aplikace, které umožní vzdálené ovládání měřicích přístrojů. Praktické využití demonstруйте na vybraných laboratorních úlohách materiálově orientovaných předmětů, vyučovaných v bakalářském studijním programu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: Ing. Martin Frk, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt:

Obsah této práce je zaměřen na využití vzdáleného přístupu přes internetovou síť k měření na laboratorních přístrojích. Pojednává o standardech propojení měřících zařízení. Zabývá se standardem LXI, instalací potřebného vybavení jak hardwaru tak softwaru a způsoby jakými lze ovládat měřící zařízení. Studuje princip a výhody měření s využitím standardu LXI. V praktické části této práce je vytvoření materiálů zaměřených laboratorních úloh, pomocí programového prostředí VeePro, vybraných z předmětů bakalářského studijního programu.

Abstract:

Content of this work is oriented on usage of remote access over internet to measure on laboratory instruments. Deals with standards of connection measuring devices. Engaged into LXI standard, instalation of necessary accessories of hardware and software and ways which is possible to control measuring devices. Studies principle and benefits of using standard LXI. In practical part of this work is creating material oriented laboratory themes, by help of programme environment VeePro, chosen from themes of bachelor's study program.

Klíčová slova:

Vzdálený přístup, standard LXI, hardware, software, programové prostředí VeePro

Keywords:

Remote access, LXI standard, hardware, software, programme environment VeePro

Bibliografická citace díla:

PEŠINA, T. *Využití internetového přístupu k přístrojové technice-bakalářská práce*. Brno, 2011. 48 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Frk, Ph.D. FEKT VUT v Brně

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 1. 6. 2011

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Frkovi, Ph.D. za odborné vedení a za pomoc při seznamování se ze strukturou školní laboratorní sítě, zapůjčení návodů k přístrojům a při realizaci propojení jednotlivých síťových prvků.

OBSAH

1. ÚVOD	- 10 -
2. SBĚRNICE PRO MĚŘICÍ A TESTOVACÍ SYSTÉMY.....	- 11 -
2.1. Rozhraní RS-232.....	- 12 -
2.1.1. Parametry RS-232.....	- 12 -
2.1.2. Signály	- 13 -
2.1.3. Zhodnocení	- 14 -
2.2. GPIB.....	- 15 -
2.2.1. Parametry	- 15 -
2.2.2. Jak GPIB pracuje ?	- 16 -
2.2.3. Signály	- 17 -
2.2.4. Zhodnocení	- 18 -
2.3. VME/VXI standard sběrnice.....	- 19 -
2.3.1. VXI sběrnice	- 20 -
2.3.2. Parametry VME/VXI sběrnic	- 20 -
2.3.3. Synchronizace VXI modulů.....	- 21 -
2.3.4. Zhodnocení	- 22 -
2.4. USB (Universal Serial Bus)	- 23 -
2.4.1. Parametry	- 23 -
2.4.2. Signály	- 23 -
2.4.3. Zhodnocení	- 24 -
2.5. LXI (Lan extension for Instrumentation).....	- 25 -
2.5.1. Specifikace LXI	- 25 -
2.5.2. Zhodnocení	- 27 -
3. STANDARDY PRO PROGRAMOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ	- 28 -
3.1. IEEE 488.2 Common Commands.....	- 28 -
3.2. Příkazy SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments).-	29 -
3.3. Komunikační knihovna VISA.....	- 30 -
3.4. LabVIEW	- 32 -
4. SESTROJENÍ LABORATORNÍCH ÚLOH	- 33 -
4.1. Měření teplotní závislosti rezistivity polovodičového materiálu.....	- 35 -
4.1.1. Specifikace použitého hardwaru/software.....	- 35 -
4.1.2. Programování úlohy.....	- 36 -

4.2.	Měření náhradního obvodu piezoelektrického rezonátoru	- 40 -
4.2.1.	Specifikace použitého hardwaru/software	- 40 -
4.2.2.	Programování úlohy	- 41 -
5.	ZÁVĚR.....	- 44 -
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	- 45 -
7.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 47 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Synchronizace startovacím impulzem [6]	- 13 -
Obrázek 2: Uspořádání pinů konektorů DB9 a DB25 [4]	- 14 -
Obrázek 3: GBIP konektory [8].....	- 15 -
Obrázek 4: Rozložení signálů s označením pinů [7]	- 18 -
Obrázek 5: VXI systém, základní rám s jednotlivými sloty [11]	- 19 -
Obrázek 6: Zpoždění start impulzu [13]	- 21 -
Obrázek 7: Synchronizační (SYNC) spouštěcí Protokol [13]	- 22 -
Obrázek 8: Různé typy konektorů USB [15].....	- 24 -
Obrázek 9: Příklad LXI systému zahrnujícího i ostatní standardy [16]	- 25 -
Obrázek 10: Fyzický standard pro T&M moduly [16]	- 26 -
Obrázek 11: Webové rozhraní pro multimetr Agilent 34410A [16]	- 26 -
Obrázek 12: Úroveň synchronizace jednotlivých tříd LXI [16]	- 27 -
Obrázek 13: Srovnání parametrů s ostatními standardy [3]	- 27 -
Obrázek 14: Vývoj GPIB programovacích příkazů [17]	- 28 -
Obrázek 14: Přístrojový model SCPI [17]	- 29 -
Obrázek 16: Standardy automatizovaných testovacích systémů [18]	- 31 -
Obrázek 17: Kód pro realizaci měření knihovnou VISA COM v aplikaci Excel [20]-	31 -
Obrázek 18: Program na měření charakteristiky diod napsaný v LabVIEW [21].....	- 32 -
Obrázek 19: Schéma měřicí sítě s vyznačením propojovacích kabelů.....	- 33 -
Obrázek 20: Hlavní nabídka Connection Expert	- 34 -
Obrázek 21: Ruční vyhledání přístroje LAN	- 34 -
Obrázek 22: Schéma zapojení.....	- 35 -
Obrázek 23: Pohled na přístroje a držák se vzorky	- 35 -
Obrázek 25: První část programu	- 37 -
Obrázek 26: Druhá část programu	- 37 -

Obrázek 27: Třetí část programu	- 38 -
Obrázek 28: Čtvrtá část programu	- 38 -
Obrázek 29: Konečná podoba uživatelského panelu	- 39 -
Obrázek 30: Výstupní soubor v excelu	- 39 -
Obrázek 31: Rezonanční křivka [19]	- 40 -
Obrázek 32: Schéma zapojení [19]	- 40 -
Obrázek 33: Pohled na přístroj a náhradní obvod piezoelektrického rezonátoru	- 41 -
Obrázek 34: Zadávací část programu	- 42 -
Obrázek 35: Ukázka hodnotící smyčky	- 43 -
Obrázek 36: Uživatelské rozhraní.....	- 43 -

1. Úvod

Tato práce se zaměřuje na problematiku vzdáleného přístupu k testovací a měřicí technice. V teoretické části pojednává o technologiích, které umožňují komunikaci více přístrojů. Počínaje od komunikace mezi počítačem a měřícím zařízením na krátkou vzdálenost, přes sestavení heterogenní měřicí sítě, až po ovládání přístrojové techniky pomocí internetu. Zaměřil jsem se na jednotlivé technologie, které přispěli k rozvoji kompatibility, flexibility, rychlosti měření a snadnosti ovládání a propojení různých typů přístrojů. Jedná se zejména o rodiny přístrojů Agilent technologies, VXI technology, National instruments a další, které jsou v této oblasti jsou významnými vývojáři a distributory. Prostuduji zde technologie jako jsou GPIB, RS232, VXI, LXI a zhodnotím jejich přínosy a nedostatky. V praktické části pak sestavím jednoduchou laboratorní měřicí síť složenou z přístrojů od výše uvedených výrobců a vytvořím pomocí programového prostředí VeePro laboratorní úlohy, které využívají internetového vzdáleného přístupu.

Vzdálený přístup má v dnešní době již široké využití v podnicích a firmách. Byl vytvořen kvůli globalizaci přístupu k datům, souborům atd. jelikož z rozvojem automatizace bylo potřeba získávat či přenášet informace (např. od různých výrobců přístrojové měřicí techniky) jednak objemově větší a rychleji a jednak spolehlivěji bez chyb a to za malé náklady. Dále krátce nastíním vývoj automatizace z hlediska měřicí a testovací techniky. Vše začalo v roce 1972, kdy inženýři Hewlett-Packard představili Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB) což je standard komunikační sběrnice (IEEE-488) z nástroje do počítače později znám už jako GPIB (General-Purpose Interface Bus), díky němuž bylo možné propojit více zařízení najednou a ovládat je efektivně přes počítač, což sériový port RS232 do té doby neumožňoval. Později byl vyvinut VXI, modulární standardní nástroj (přístroje na přídatné kartě) pro armádu USA, který byl hojně využíván v obranném průmyslu a výrobě zkušebních aplikací. VXI technologie již existuje přes 30 let a stále má své zastoupení. Souběžně svět zažíval rozmach internetu, který byl v této době v podobě komunikačního protokolu TCP/IP obsažen téměř v každém počítači. Postupně vznikalo sdružení velkých společností, které v roce 2004 v Salt Lake City už jako Agilent Technologies (dříve Hewlett-Packard) a VXI Technology Inc. představilo LXI (jakoby LAN síť určená k měření), kombinující to nejlepší z nástrojů, GPIB a modulů VXI a založenou na populární IEEE-802.3 specifikaci (ethernetu) pro síť a také využívající standardní TCP/IP (Internet Protocol). Znamená kompatibilitu, flexibilitu a zlevnění nákladů na měření. A díky zpětné kompatibilitě umožňuje vytvářet tzv. hybridní systémy, kde se systém může skládat ze zařízení, které mohou podporovat nejenom technologii LXI a zároveň spadat do této oblasti. Svou úlohu také hrají zařízení na podporu sítě jako routery, brány, opakovače, redukce či přídatné karty. Takové systémy mají také určité požadavky na spolehlivost a synchronizaci, kterých LXI snáze dosahuje. Nyní již sdružení podporuje a vyvíjí přes 50 největších společností, se sortimentem blížícím se 1500 produktů a to v současné nejnovější specifikaci 1.3 vydané v říjnu roku 2008.

2. Sběrnice pro měřicí a testovací systémy

Jako základní dělení by se tyto systémy dali rozlišovat na přístroje pro laboratorní provoz a přístroje pro průmyslový provoz.

Laboratorní systémy jsou takové jejichž přístroje jsou ve stolním provedení rozlohou na menším prostoru (krátká vedení snímač - měřicí jednotka), mají malá rušivá napětí, většinou zde nevadí galvanická spojení a často se mění použití a konfigurace přístrojů. Průmyslové systémy jsou naproti tomu ve skříňovém provedení často rozlehlé s velkými rušivými napětími, galvanická spojení mohou být příčinou poruch a změny použití nejsou tolik frekventované. Oba typy systémů využívají různé typy sběrnic, jako jsou **RS-232**, **GPIO**, **VXI**, **LAN**, či **USB**, některé se díky svým vlastnostem stali pro ně typické. To platí zejména pro modulární měřicí systémy **VXI** a **PXI** (a stále hojně využívané sběrnice **RS-422**, **RS-485**, které nacházejí své uplatnění především v průmyslových aplikacích.

Pro výběr měřicího systému a jeho implementaci jsou klíčové tři faktory. Jsou to typy převodníků, vlastnosti použitých sběrnic a software. Při výběru přístroje je třeba se nejprve ujistit, zda splňuje nároky na přesnost, vzorkovací frekvence, šířky pásma, dynamického rozsahu atd. Komponenty měřicího systému by v ideálním případě měly být co nejblíže u sebe. V praktických aplikacích to ale obvykle není možné. Dnešní komunikační technologie umožňují rozmístění komponent daleko od sebe při zachování důležitých parametrů měření, např. rychlost zpracování řídicí smyčky, synchronizace a propustnost sběrnice.

Současný trend vede k implementaci distribuovaných systémů, kde dojde ke vzájemnému oddělení úloh a k jejich rozproštění mezi více výpočetních systémů. To zaručuje zvýšení spolehlivosti, zvýšení celkové rychlosti zpracování a zvětšení šířky pásma vstupů/výstupů. Při návrhu distribuovaného systému většina uživatelů nejprve zvažuje požadavky na distribuci - rozměry, vzdálené umístění a konektivitu. Ideálním příkladem je systém pro zkoušky ve vozidlech, který musí být malý a robustní.

2.1. Rozhraní RS-232

Standard RS-232 byl vyvinut pro komunikaci dvěma zařízeními, mohli to být 2 počítače nebo také dvě různá zařízení. Hlavní myšlenkou bylo zajištění takového propojení, které zaručovalo co nejméně chybové přenášení dat a zároveň jednoduchost propojování bez nutnosti braní ohledu na různé výrobce při kompatibilitě. Byl poprvé představen v šedesátých letech tehdy Standards committee (dněšní Electronic Industries Association - EIA) od té doby vznikali jeho vylepšené verze jako RS-232C, RS-232D, RS-232F. V devadesátých letech byl standard přejmenován na EIA232, ale dodnes se používají obě označení a nebo se mluví také o také sériovém portu nebo sériové lince. Používá se jako komunikační rozhraní osobních počítačů a další elektroniky. RS-232 umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení, tzn. že jednotlivé bity přenášených dat jsou vysílány postupně za sebou (v sérii) po jediném vodiči, podobně jako u síťové technologie Ethernet nebo rozhraní USB. V současné době se v oblasti osobních počítačů od používání sériového rozhraní RS-232 již téměř definitivně ustoupilo a to bylo nahrazeno výkonnějším Univerzálním sériovým rozhraním (USB). Nicméně v průmyslu je tento standard, především jeho modifikace, standardy RS-422 a RS-485, velice rozšířen a pro své specifické rysy tomu tak bude i nadále. Na rozdíl od komplexnějšího USB, standard RS-232 pouze definuje, jak přenést určitou sekvenci bitů a nezabývá se už vyššími vrstvami komunikace. V referenčním modelu ISO/OSI tak představuje pouze fyzickou vrstvu.

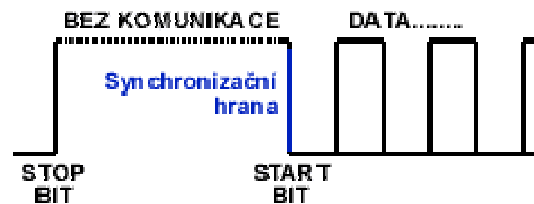
2.1.1. Parametry RS-232

Standard RS-232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů, nebo délku vodiče o kapacitě 2500 pF. To znamená, že při použití kvalitních vodičů lze dodržet standard a při zachování jmenovité kapacity prodloužit vzdálenost až na cca 50 metrů. Kabel lze také prodlužovat při snížení přenosové rychlosti, protože potom bude přenos odolnější vůči velké kapacitě vedení. Uvedené parametry počítají s přenosovou rychlostí 19200 Bd což odpovídá 20kb/s. V praxi jsou dosahovány výsledky mnohem lepší (115,2 kb/s při vzdálenosti až 50 metrů) použitím kabelů s kapacitou pod 1000 pF.

Pro přenos dat na větší vzdálenosti je výhodnější používat rozhraní RS-422, RS-485, či proudovou smyčku. Podle specifikace je dosah těchto rozhraní 1200 metrů a přenosová rychlost 10 Mb/s. Toho lze dosáhnout na vedení stíněnou kroucenou dvojlinkou (u RS422 na dvoj páru) a ukončením vedení zakončovacími odpory 120 Ω na obou koncích vedení. Linka RS422 používá jeden pár vodičů pro signál RxD a druhý pro signál TxD. Z toho vyplývá, že použijeme-li linku RS422 k prodloužení přenosové vzdálenosti místo "třídrátové" RS232 (RxD, TxD, GND), nic se nemusí na způsobu komunikace měnit a není tedy třeba ani zásah do software.

2.1.2. Signály

Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5 V. Nejběžněji se pro generování napětí používá napěťový zdvojovač z 5 V a invertor. Logické úrovně jsou potom přenášeny napětím +10 V pro logickou 0 a -10 V pro logickou 1. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu. Za ní již následují posílaná data.



Obrázek 1: Synchronizace startovacím impulzem [6]

Zařízení která používají sériové kabely pro komunikaci jsou rozděleny na dvě kategorie. A to na DCE zařízení (Data Communications Equipment) a na DTE zařízení (Data Terminal Equipment.) DCE jsou zařízení jako modem či plotter, jako DTE zařízení bývá nejčastěji počítač. Všechny DTE-DCE kabely jsou přímé a vývody jsou propojeny 1:1. DTE-DTE (nazývané Null-Modem) a DCE-DCE (nazývané Tail Circuit) kabely patří mezi křížené. Mezi sebou navzájem komunikují pomocí následujících signálů:

DCD (Data Carrier Detect) - Detekce nosné, modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval nosný kmitočet.

RxD (Receive Data) - Tok dat z modemu (DCE) do terminálu (DTE).

TxD (Transmit Data) - Tok dat z terminálu (DTE) do modemu (DCE).

DTR - Data Terminal Ready - Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že je připraven komunikovat.

SGND - Signal Ground - Signálová zem

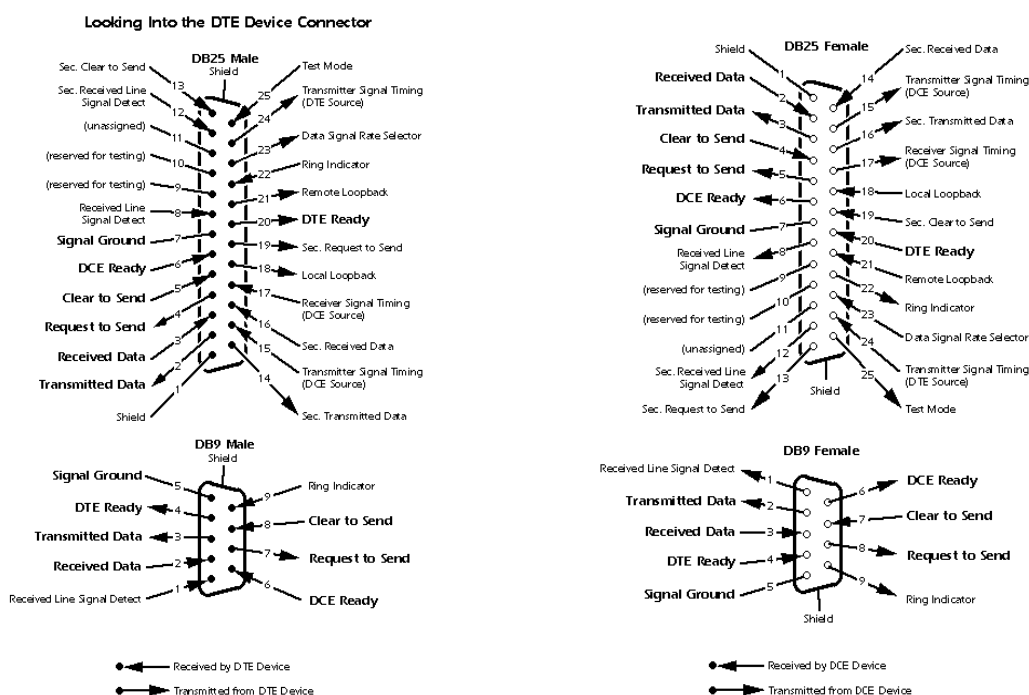
DSR - Data Set Ready - Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že je připraven komunikovat.

RTS - Request to Send - Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že komunikační cesta je volná.

CTS - Clear to Send - Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že komunikační cesta je volná.

RI - Ring Indicator - Indikátor zvonění. Modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval signál zvonění.

Z definic signálů je vidět, že tehdy hlavní účel signálů bylo komunikovat po telefonní lince, která zdaleka nedosahovala dnešních rychlostí. RS232 byla tehdy používána zejména v devíti pinovém provedení konektorů DB9 a DB25 atd. V novějších plně duplexních komunikačních zařízeních ztrácejí řídící signály částečně svůj původní význam a programy je využívají spíše způsobem “zařízení DTE hlásí, že je momentálně připraveno (nepřipraveno) přijmout data, k tomu může programátor využít jak signál DTR, tak signál RTS a právě tak lze pro zařízení DCE obdobně použít signál DSR nebo CTS. Proto některé programy umožňují zvolit, které handshakevé (řídící) signály se pro řízení toku dat použijí. V nastavení takových programů můžete proto někdy najít více variant hardwarového řízení toku – “hardware (RTS/CTS)”, “hardware (DTR/DSR)” apod. Takto použitý řídící signál se pak podle nových definic nazývá správně Ready for receiving.



Obrázek 2: Uspořádání pinů konektorů DB9 a DB25 [4]

2.1.3. Zhodnocení

- + Cenově nejdostupnější a nejjednodušší rozhraní pro sériovou komunikaci dvou zařízení mezi sebou.
- + Asynchronní rozhraní RS-232 má vyveden každý běžný počítač.
- Nevýhodou je omezená komunikační vzdálenost
- Nemožnost větvení.
- Malá přenosová rychlost.
- Náchylnost k rušení
- Při komunikaci prostřednictvím portu RS-232 je nutné na obou zařízeních nastavit shodně tyto údaje: přenosová rychlost, parita, počet datových bitů (7 nebo 8) a počet stop bitů.

2.2. GPIB

GPIB (General Purpose Interface Bus), někdy nazývané IEEE 488, HP-IB (Hewlett Packard IB) nebo IMS (International Measurement System), je rozhraní pro měřicí a zkušební přístroje a zařízení, které umožňuje přenos dat mezi dvěma nebo více přístroji. Umožňuje připojení počítače, který může řídit přenos dat. Rozhraní bylo vyvinuto v roce 1972 společností Hewlett-Packard a později se stalo jedním z nejrozšířenějších komunikačních systémů pro měřicí a zkušební techniku na světě. Jeho využití bylo původně navrženo pro propojení měřicích přístrojů v rámci jedné či několika laboratoří. Základní myšlenkou je využití autonomních jednotek, které sdílejí informace s ostatními jednotkami pomocí sběrnice. V roce 1975 bylo rozhraní přijato jako standard IEEE 488 (Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation). GPIB je jako běžná počítačová sběrnice, kromě toho, že počítač má svoje obvodové karty propojené skrze základní desku. U GPIB jsou samostatná zařízení propojeny standardním kabelem.



Obrázek 3: GBIP konektory [8]

2.2.1. Parametry

GPIB je krátkodosahová digitální komunikační sběrnice pro automatizované testovací vybavení. Jde o paralelní sběrnici, která umožňuje propojení maximálně 15 přístrojů. Má 24 vodičů (pinů). Maximální délka sběrnice může být 20 m, přičemž maximální vzdálenost mezi dvěma funkčními jednotkami jsou 2 m. Informace se přenáší digitálně po bytech (8 bitů). Jde o asynchronní přenos dat, který je řízen hardwarově. Přenosová rychlost odpovídá délce kabelu mezi přístroji. Maximální teoretická přenosová rychlost je 1 MB/s, ovšem rychlosti dosahované v praxi jsou menší a to 250 až 500 kB/s a jsou limitována nejpomalejším na sběrnici připojeným zařízením.

Existuje i pozdější rozšíření HS-488, u kterého je maximální přenosová rychlost 8 Mb/s. Pro systémy s vyšší rychlostí a HS488 systémy se používá tří-vodičový IEEE 488.1 handshake (T1 zpoždění = 350 ns) s následujícími omezeními:

- maximální celková délka kabelu je 15m a délka mezi jednotlivými přístroji 1m
- všechny přístroje by měli být zapnuty
- všechny by měli používat 48 mA trojstavové ovladače
- definovaný kapacitní odpor (měl by být méně než 50pF na každé zařízení)

2.2.2. Jak GPIB pracuje ?

Jsou dva typy dat které mohou přenášeny přes GPIB a to data přístroje a zprávy rozhraní. Data přístroje obsahují speciální příkazy které se liší na základě jednotlivých výrobců a umožňují konfigurovat přístroj, vracet výsledky měření atd. List s podporovanými příkazy se nachází v dokumentaci přístroje. Zprávy rozhraní jsou definovány GPIB standardem a obsahují příkazy k "vyčištění" GPIB sběrnice, adresy zařízení, vracení výsledků vlastního testu atd.

Každé GPIB zařízení musí být nějakou kombinací vysílače (Talker), přijímače (Listener) a kontroléru (Controller), který řídí tok informací na GPIB posíláním příkazů všem zařízením. Vysílače a přijímače jsou typicky zařízení jako jsou osciloskopy, generátory, multimetry, atd. Vysílače vysílají data přes rozhraní když jsou osloveny kontrolérem k vysílání, přičemž v daný čas může vysílat pouze jeden vysílač. Přijímače přijímají data přes rozhraní když jsou osloveny kontrolérem k přijímání. Přičemž může přijímat až 14 přijímačů v daný čas. Typicky kontrolér je vysílačem když je jedno nebo více zařízení v módu přijímače. Kontrolérem je typicky základní deska instalovaná ve vašem počítači. Kontrolér určuje která zařízení jsou přijímači a vysílači. GPIB systém může obsahovat více kontrolérů. Jeden z nich je určen jako systémový kontrolér. Avšak aktivní v daný čas může být jen jeden. Tento aktivní kontrolér je Controller-In-Charge (CIC) jakoby ten aktuálně pověřený. CIC může odevzdat kontrolu jinému čekajícímu správci. Když kontrolér neposílá zprávy, pak může zprávy posílat vysílač. Typicky CIC je přijímačem ve chvíli, kdy jiné zařízení je v módu vysílače. Role kontrolér je srovnatelná s rolí CPU v počítači, ale lepší analogie je srovnání kontroléru s telefonní ústřednou městského telefonního systému. Ústředna (kontrolér) monitoruje komunikační síť (GPIB). Jakmile zaznamená, že chce někdo (zařízení) volat (poslat datovou zprávu), spojí volajícího (vysílač) s volaným (přijímačem). Některé GPIB konfigurace nepotřebují kontrolér. Například zařízení které je vždy vysílač, nazývané talk-only zařízení, je připojeno k jednomu nebo více listen-only zařízením. Kontrolér je nezbytný když je aktuálního vysílače nebo přijímače potřeba změnit.

2.2.3. Signály

GPB má 16 signálových linek (8 obousměrných k datovým přenosům, 3 tzv. handshake a 5 k řízení sběrnice) a 8 zemnicích linek.

Osm datových vodičů (pinů) DIO1 až DIO8, nesoucích oba typy, datové i příkazové zprávy. Stav ATN pinu určuje zda je informace datová nebo příkazová. Všechny příkazy a většina dat používá 7-bitovou ASCII nebo ISO kódovou sadu, v takovém případě je osmý bit, DIO8, nepoužívaný nebo se používá jako paritní.

Tři tzv. “handshake” piny řídí asynchronně přenos zpráv mezi zařízeními. To zaručuje, že bajty zpráv datových linek jsou posílány a obdrženy bez přenosových chyb. Tyto tři signály jsou definovány následovně:

NRFD (not ready for data) - signalizuje zda je zařízení připraveno či nepřipraveno k přijetí bajtu zprávy. Linka je využita všemi zařízeními během přijímání příkazů, přijímače když přijímají datové zprávy a vysílače, když je třeba povolit HS488 protokol.

NDAC (not data accepted) - signalizuje zda zařízení přijalo nebo nepřijalo bajt zprávy. Linka je využita všemi zařízeními během přijímání příkazů a přijímače když přijímají datové zprávy.

DAV (data valid) - říká zda jdou signály na datové lince stabilní (platné) a mohou být bezpečně přijaty zařízeními. Kontrolér využívá DAV, když posílá příkazy a vysílač, když posílá datové zprávy.

Pět linek řídí tok informací skrze rozhraní jsou to tzv. “interface management lines”:

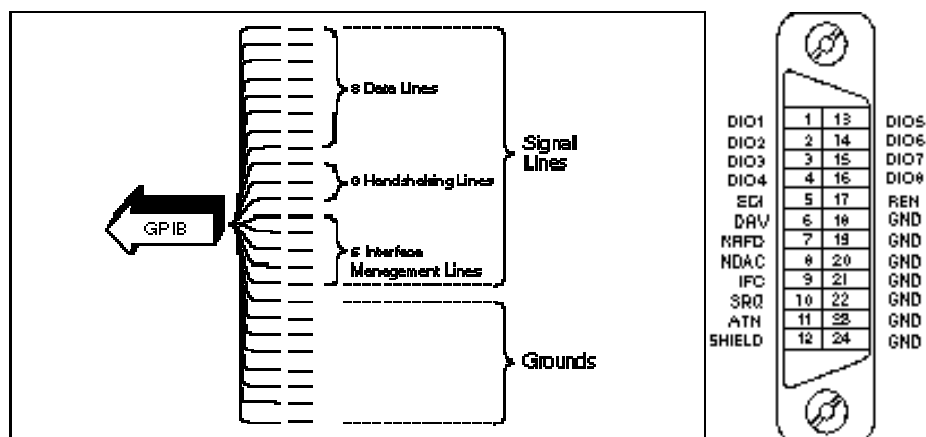
ATN (attention) - kontrolér použije ATN když používá datové linky k posílání příkazů a deaktivuje je, když vysílač může posílat datové zprávy.

IFC (interface clear) - systémový kontrolér použije IFC linku k nastavení sběrnice aby se stal CIC.

REN (remote enable) - systémový kontrolér použije REN linku aby nastavil zařízení do módu vzdáleného přístupu nebo “local” módu.

SRQ (service request) - každé zařízení používá SRQ linku k asynchronní žádosti o službu od kontroléru.

EOI (end or identify) - EOI linka má dva účely - vysílač ji používá k označení konce řetězce zprávy a kontrolér ji používá aby vyzval zařízení k identifikaci jeho odezvy v paralelní volbě.



Obrázek 4: Rozložení signálů s označením pinů [7]

2.2.4. Zhodnocení

- + Jednoduché hardwarové rozhraní
- + Snadné připojení více zařízení do 1 hostitelského zařízení
- + Možnost použití zařízení s různou komunikační rychlostí
- + Nízká odezva (méně než 100 μ s, což je lepší než u LXI a USB)
- + Dobře zavedený, široce podporovaný standard
- Mechanicky objemné konektory a kabely s omezením vzdálenosti
- Omezená implementace v zařízeních nepodporujících standard IEEE-488.2
- Omezená rychlost
- Absence galvanického oddělení přístrojů
- V porovnání s RS232/USB/Ethernet/Firewire vyšší náklady a omezená dostupnost

2.3. VME/VXI standard sběrnice

VME (Versa Module Europe Bus) je byla původně vyvinuta firmou Motorola pro rodinu procesorů M68000 v roce 1979. Později standardizována jako ANSI/IEEE STD1014-1987. VME systém se skládá ze základního rámu (mainframe), do něhož jsou zasouvány jednotlivé moduly. Pozice v základní jednotce jsou číslovány od 1 do 21. Modul určený pro zasunutí do pozice 1 musí kromě uživatelem požadovaných funkcí splňovat i některé požadavky kladené na něj standardem. Standard definuje dvě velikosti modulů (A, B) a základních jednotek. Systém je navržen jako multiprocesorový - to znamená, že v jediném rámu může pracovat několik procesorových modulů a prostřednictvím společné sběrnice sdílet prostředky modulů dalších. Do společné skříně s napájecími zdroji a VME sběrnicí se zasouvají jednotlivé moduly připojené na společnou sběrnici. VME bus je nejrozšířenějším standardem na trhu otevřených průmyslových systémů a tomuto postavení odpovídá i nabídka prvků systému. Má již řadu vlastností, kterých dosáhla PCI sběrnice mnohem později. V zásadě ji lze rozdělit do čtyř oblastí. Jsou to základní jednotky (mainframe), moduly řídicích počítačů, komunikační moduly a moduly měřicí a akční. Oblast měřicích a akčních modulů lze v zásadě rozdělit na dvě skupiny. První jsou relativně jednoduché moduly bez vlastní inteligence (čili bez lokálního procesoru), které jsou zcela řízeny řídicím počítačem (např. moduly digitálních a analogových vstupů a výstupů s nejrůznějšími parametry). Do druhé skupiny patří moduly, které jsou schopny vykonávat vlastní algoritmus (např. autonomní jednotky pro sběr a zpracování dat, jednotky pro řízení motorů, pro zpracování obrazu atd.).



Obrázek 5: VXI systém, základní rám s jednotlivými sloty [11]

2.3.1. VXI sběrnice

Uspořádání VME sběrnice však neumožňovalo dosáhnout parametrů srovnatelných s laboratorními systémy se sběrnici IEEE 488 složených ze špičkových laboratorních přístrojů z hlediska přesnosti, elektromagnetické kompatibility a synchronnosti spouštění. Proto na bázi sběrnice VME (v podstatě na požadavek americké armády) vznikla jejím rozšířením nová sběrnice pro měřicí systémy se zásuvnými moduly - VXI sběrnice (VME eXtension for Instrumentation). Téměř vše, co platí pro standard VME, platí i pro standard VXI. Standard VXI je výkonná stavebnice pro tvorbu měřících a testovacích systémů. Byl vytvořen konsorciem světových firem. Stavebnice specifikuje rozměry zásuvných modulů, které mají funkci měřících přístrojů, elektrické propojení i konektory. Zásuvné moduly se vkládají do speciální vany (rámu Main-frame), který zajišťuje propojení, chlazení i napájení. Řízení systému zajišťuje řídicí jednotka, která obsahuje vestavěný počítač (IBM/PC kompatibilní nebo i jiný). Je však možné ovládání systému i z externího počítače pomocí GPIB, sériového kanálu či MXI kabelu.

2.3.2. Parametry VME/VXI sběrnic

U VME je maximální přenosová rychlost sběrnice o něco nižší než 40 Mb/s při 32-bitovém blokovém přenosu, její novější modifikace VME64 umožňuje až 80Mb/s a další VME64x a VME320, 160 a 320Mb/s. Rám může obsahovat maximálně 21 pozic pro zásuvné moduly. Jednotky a moduly jednoduché výšky mají k dispozici jeden konektor s 96 kontakty, který je normou plně definován a poskytuje veškeré signály nutné pro plné začlenění modulu do systému. Další konektor, jenž je k dispozici u dvojnásobné výšky modulu, pouze rozšiřuje datovou a adresovou sběrnici na 32 bitů. VME definuje elektrické a mechanické parametry a tzv. funkční bloky a jejich interakce.

U VXI je součástí základní jednotky (main-frame) navíc specifikován způsob napájení a chlazení zásuvných modulů včetně splnění požadavků na elektromagnetickou kompatibilitu. Obsahuje maximálně 13 slotů (0-12), přičemž slot 0 hraje roli kontroléru obdobně jako je tomu u GPIB. Přenosová rychlost je srovnatelná jako u VME jelikož vychází z tohoto standardu. VXI bus specifikace rozeznává čtyři velikosti modulů, které označuje písmeny A až D. Velikosti A a B odpovídají modulům jednoduché a dvojnásobné výšky podle standardu VME, moduly velikosti C a D mají dvojnásobnou délku. Další rozdíl je v šířce modulů, pro VME je to 0,8 palce, pro VXI, kde se předpokládá použití stínění, je to 1,2 palce.

V základním standardu VXI však nejsou řešeny problémy s programovou kompatibilitou. Pro uživatele systému je většinou obtížné správně vyhodnotit kompatibilitu modulů na systémové úrovni. Instalovat modul VXI je jednoduché, ale vytvořit programový modul, který jej bude řídit a funkčně začlenit tento programový

modul k ostatním programovým modulům v systému může být časově náročný a technicky složitý proces bez záruky toho, že hned napoprvé povede k cíli.

Proto byl vydán Standard VXI plug&play, který řeší problém integrace programové části systémů GPIB a VXI. Na systémové úrovni definuje především programová rozhraní, výsledkem čehož je podpora návrhu, integrace a odladění systému jako celku. Standard VXIplug&play je organizován do série dokumentů, označovaných VPP-n.

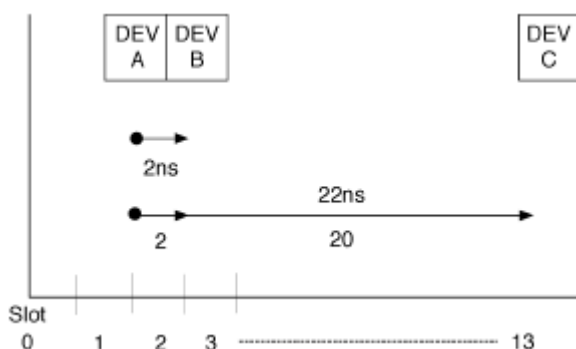
2.3.3. Synchronizace VXI modulů

Kromě specifikací pro chlazení, napájení, možnosti automatické konfigurace a elektromagnetického rušení vylepšuje VXI standard VME také o přesnou synchronizaci díky nové spouštěcí sběrnici a synchronizačním protokolům. VXI specifikace definuje spouštěcí sběrnici osmi TTL linkami (TTLTRG0* až TTLTRG7*) a šesti ECL linkami (ECLTRG0 až ECLTRG5), nijak speciálně nedefinuje jak používat linky na sběrnici, ale definuje protokoly spouštěcího potvrzování.

Definuje Start/Stop spouštěcí protokol pro kontrolér na Slotu 0. A protože tento protokol je užitečný a populární, byl rozšířen v rámci VISA knihoven, kde je definován jako On/Off protokol a aplikován nejen na zařízení na slotu 0, ale na všechny sloty v základním rámci. Protokol pracuje tak, že když je spouštěcí linka ve stavu nízké úrovně napětí (On), může zařízení provádět aktivitu, jakmile je na lince úroveň vysoká (Off), zařízení zastaví aktivitu.

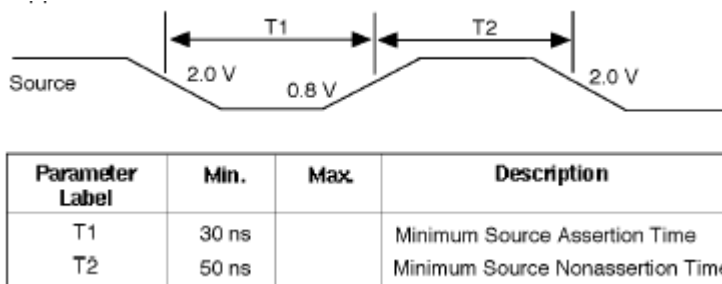
Tento časovací protokol je velmi přesný protože používá 10 MHz signál CLK10 k synchronizaci On/Off signálů. Díky tomu, že přenášecí signál mezi dvěma zařízeními v sousedních slotech má vždy zpoždění 2ns, může být spuštění těchto zařízení snadno synchronizováno protože se dá spočítat kdy tam dorazí signál.

Dále je to SYNC protokol, to je nejjednodušší spouštěcí protokol který, nepotřebuje potvrzování od přijímacího zařízení. Používá jediný pulz na spouštěcí lince a reprezentuje ho nízká úroveň napětí, reprezentuje ho obrázek 7.



Obrázek 6: Zpoždění start impulsu [13]

Zařízení A je kontrolér, který pošle startovací signál CLK10 zařízením B a C. Po 20 ns CLK10 signál dorazí k zařízení C, zařízení B může vnitřně zpoždit spuštění o 20 ns kvůli synchronizaci tím se zajistí start ve stejnou dobu. Předpokladem je schopnost zařízení B interně zpožďovat spuštění.



Obrázek 7: Synchronizační (SYNC) spouštěcí Protokol [13]

Na trzích České a Slovenské republiky zajišťuje systémovou integraci systémů VXI naše firma IPPmeasure. Je členem konsorcia VXIplug&play. Ve spolupráci s firmami Tektronix a Hewlett-Packard např. navrhli první komerčně dodaný systém VXI u nás. Je určen pro nestandardní měření na jaderném reaktoru JE Dukovany. Systém sestává z přepínače 88 měřicích míst, číslicového voltmetru, 240 digitálních vstupů a výstupů a řídicího modulu. V tomto systému flexibilita modulů VXI vyhovuje nárokům na velkou rychlost měření při zachování přesnosti, vyžadované mezinárodními standardy. Šíře sortimentu VXI, sériovost výroby a následně i cenová dostupnost jsou větší, než u obdobných systémů CAMAC. Vrozená flexibilita sběrnice přinesla možnost snadného rozšíření systému a modifikace měření tak, jak se budou v čase měnit požadavky. Výhodná je též kompaktnost řešení, umožňující celé měřicí zařízení přenášet.

2.3.4. Zhodnocení

- + větší datová propustnost oproti ostatním standardům (GPIB, RS232)
- + schopnost synchronizace více zařízení na vysoké úrovni
- + miniaturizovaný měřicí systém (myšleno v rámci propojení více přístrojů oproti GPIB)
- + možnost integrace předchozích typů sběrnic
- + spolehlivost, delší doba mezi poruchami
- vysoká cena
- náročný na konfiguraci

2.4. USB (Universal Serial Bus)

USB vzniklo za spolupráce firem Compaq, Hewlett Packard, Intel, Lucent, NEC, Microsoft a Philips. První specifikace USB byla navržena v roce 1995, jako levné univerzální rozhraní pro externí zařízení, která vystačí s nižší průchodností dat. Jeho účelem bylo sjednotit způsob připojování těchto periférií. Skutečného rozšíření se dočkalo až v roce 1998 díky revolučnímu počítači Apple iMac, který byl jako první na světě vybaven pouze porty USB a podnítil výrobce k většímu zájmu o výrobu USB periférií a příslušenství. Nahrazuje rozsáhle používaný port RS-232. Univerzální sériová sběrnice ulehčuje obecně práci uživateli. USB má především větší šířku pásma než sériový port RS-232.

2.4.1. Parametry

Rozšířeny jsou zejména dvě verze, první USB 1.1 dělená na pomalá (Low-Speed) zařízení s přenosovou rychlostí 1,5 Mb/s a rychlá zařízení (Full-Speed) s rychlostí 12 Mb/s. Druhá USB 2.0 verze s maximální rychlostí 480 Mbit/s v režimu Hi-Speed, která je zpětně kompatibilní s USB 1.1. Na kořenový rozbočovač je možné připojit až 127 zařízení. Pro maximální využití přenosové rychlosti (12Mb/s) může být kabel dlouhý maximálně 5m a musí být stíněný a kroucený, pro přenosy do 1,5Mb/s může být použit nestíněný a nekroucený s délkou maximálně 3m. USB využívá čtyřvodičového připojení, přičemž dva vodiče tvoří napájení a dva tvoří datový pár. Třetí verze USB 3.0 disponuje více než 10× větší rychlostí, přenosová rychlost je 5 Gbit/s, ale pravděpodobně kvůli finanční krizi se její masové rozšíření opozdilo a rozvíjet se začíná až roku 2010. Nová technologie má 8 vodičů namísto původních 4, přesto zpětně podporuje USB 2.0

2.4.2. Signály

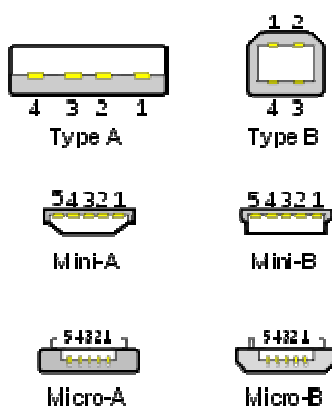
Napájecí napětí je 5V. Dvojice datových vodičů (DATA+ a DATA-) je kroucená, vodiče VCC a GND nikoli. Pro veškerou komunikaci mezi počítačem a funkční jednotkou jsou k dispozici tři typy paketů. Každá výměna dat začíná tím, že počítač vyšle tzv. token paket obsahující popis typu a směru výměny dat, adresu USB zařízení a číslo koncové jednotky. Pak zařízení, které má vysílat data, vyšle datový paket nebo indikuje, že žádná data nejsou k dispozici. Přijímací strana nakonec vyšle tzv. handshake paket, kterým informuje, zda přenos proběhl úspěšně.

Existují zde dva typy přenosového modelu :

Tok dat (stream) využívající izochronní přenos dat v reálném čase. Nemá přesně definovanou strukturu, týká se zejména přenosu zvuku po vzorkování a převedení na číslcovou formu.

Zpráva (message) využívající asynchronní přenos. Má přesnou strukturu. Řídicí zpráva určená pro konfigurování poprvé aktivovaného zařízení. Zpráva obsahující větší objem dat (např. pro tiskárnu nebo plotter), jež je většinou segmentována do více částí.

Zpráva s přerušením (obvykle několik bajtů), kterou spontánně vysílá zařízení, aby předalo zprávu o svém stavu (např. změna polohy myši). Pro kódování je ve všech případech použit kód NRZI (not-return-to-zero recording). Zabezpečení přenosu zajišťuje CRC (Cyclic Redundancy Check).



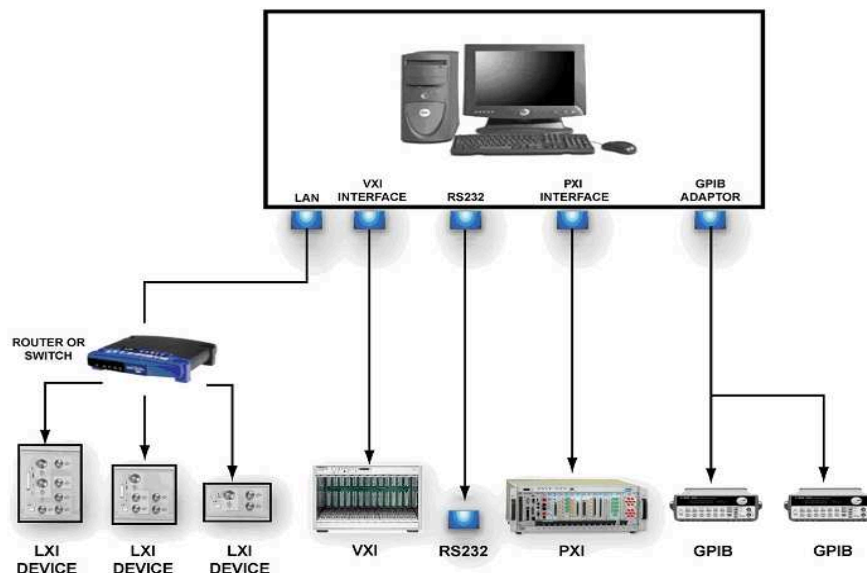
Obrázek 8: Různé typy konektorů USB [15]

2.4.3. Zhodnocení

- + Celkem je možno na USB připojit až 127 zařízení.
- + Výhodou je možnost připojování Plug & Play, autoidentifikace periférií, automatické mapování funkce a konfigurace driveru. Zařízení lze připojit za chodu k počítači a během několika sekund je přístupné.
- + Cena
- + Silná podpora ze strany operačních systémů
- vzhledem ke konkurenčnímu standardu IEEE 1394 (Firewire) nižší výkon a dosah
- není příliš rozšířen na poli měřicích a testovacích zařízení
- Maximální délka kabelu mezi sousedními zařízeními je 5 m.

2.5. LXI (Lan extension for Instrumentation)

LXI je nový otevřený standard stanovující specifikace a technologie v oblasti funkčního testování, měření a sběru dat. Je založený na Ethernetu, webovém rozhraní, a časovacím protokolu IEEE 1588. Sdružení společností které se zabývali jeho vývojem bylo založeno v roce 2004 a bylo pojmenováno LXI Consortium. LXI 1.0 specifikace byla vydána v září 2005. LXI je platformou přístrojového vybavení určenou pro zajištění modularity, flexibility a výkonu malých a středních systémů. Očekává se, že definice takového standardu, v podstatě prostřednictvím rozšíření GPIB na síť LAN usnadní a zlevní komunikaci mezi PC a přístroji. Předpokládá se, že LXI zařízení budou založena na odlišných systémech, které nebudou LXI kompatibilní. Zařízení mohou nadále obsahovat GPIB, PXI, VXI, a LAN a jiné možnosti připojení. Zavedením LXI odpadá problém s omezením vzdálenosti dvou spojů díky přepínačům a směrovačům při komunikaci, tato vlastnost je rozhodující pro případy, kdy je třeba distribuovat systém na velké vzdálenosti, na druhou stranu se nedá dosáhnout dobré odezvy což znemožňuje použití tam kde je potřeba vysoký výkon měření.

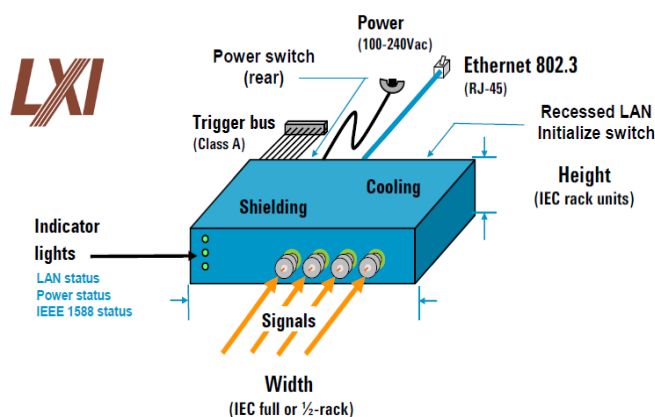


Obrázek 9: Příklad LXI systému zahrnujícího i ostatní standardy [16]

2.5.1. Specifikace LXI

Místo toho, aby upravoval stávající normy, LXI jasně specifikuje, jejich interakce v pěti následujících oblastech:

Fyzická specifikace - LXI používá IEC-standardní rozměry skříně a doporučuje umístění připojení signálových kabelů na přední a propojovacích a napájecích na zadní panely. Také jsou zde zahrnuty tlačítka jako je reset a indikační kontrolky, chlazení, krytí, jasně viditelné označení loga LXI znamenající kompatibilitu standardu a to i zpětnou se staršími typy zařízení.

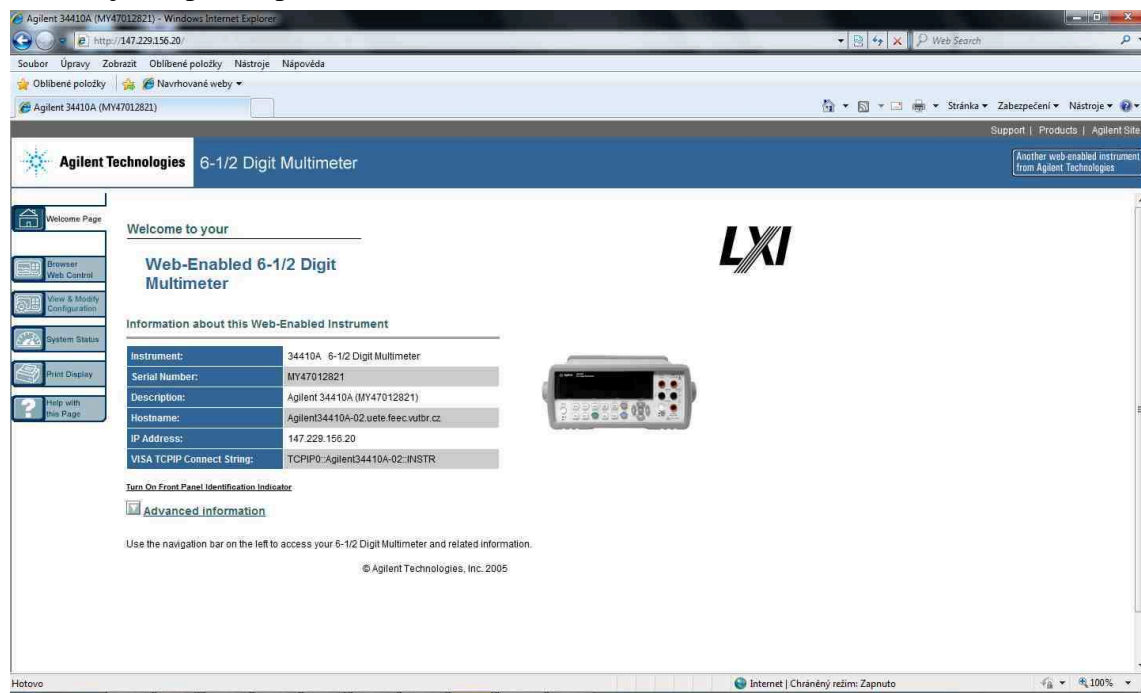


Obrázek 10: Fyzický standard pro T&M moduly [16]

Ethernet - LXI používá IEEE 802.3 standard, protokoly, rychlost, adresy, konfigurace a výchozí podmínky, které musí být provedeny v souladu s cílem zajistit provoz (TCP/IP, DHCP, URL / IP adresy, Dynamic DNS, Auto-MDIX). Informace jsou tedy přenášeny v datových rámcích s technickými výhodami jako detekce chyb či peer-to-peer komunikace jasně překračují omezení paralelní sběrnice a dalších i na základě sériového rozhraní.

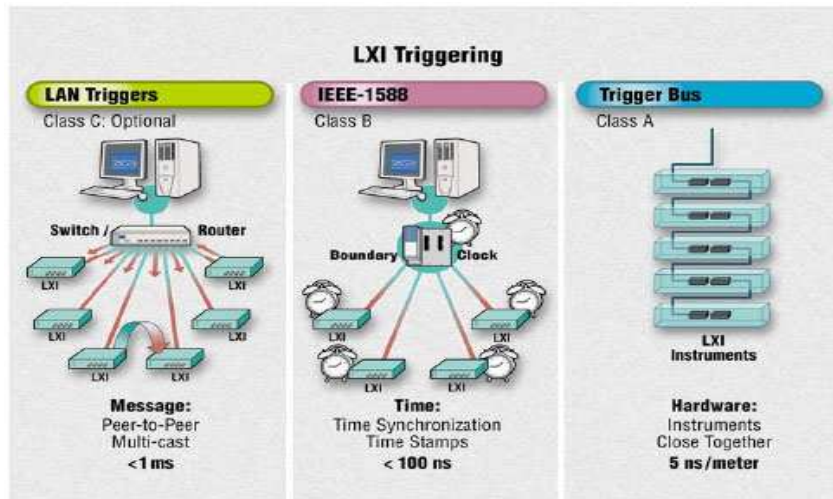
Programové rozhraní - všechna zařízení musí mít Výměnný Virtuální nástroj (IVI) řidič, který umožňuje vývojářům používat programovací jazyk podle toho, které vývojové prostředí upřednostňují. VXI-11 driver zase umožní automatické objevení při zapojení přístroje.

Nástroj stránky - každé zařízení musí mít webovou stránku, která poskytuje klíčové informace, jako je sériové číslo, jméno počítače MAC a IP adresy, které může uživatel měnit. Přístroj je možné spustit přes toto webové rozhraní jako okno s java apletem zobrazujícím přední panel.

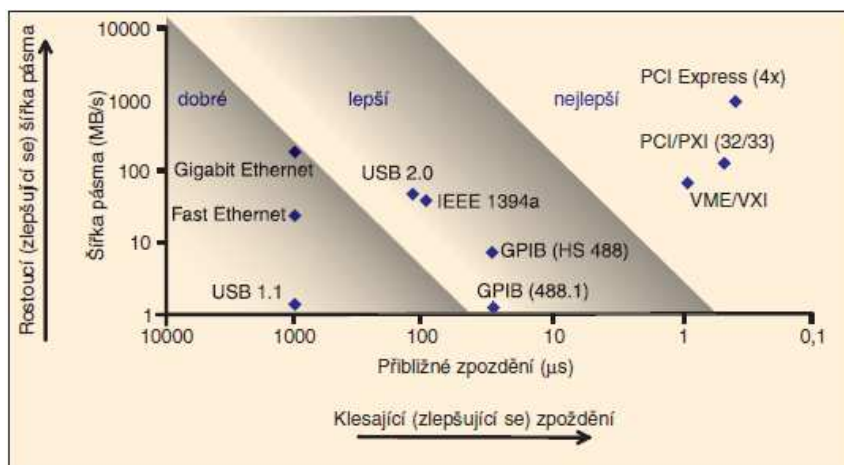


Obrázek 11: Webové rozhraní pro multimetr Agilent 34410A [16]

Synchronizace - založená na přesném časování protokolu IEEE 1588 a fyzické kabelové spoušti - systém M-LVDS (Low-Voltage Multipoint Differential Signaling) elektrické rozhraní, které úzce synchronizuje provoz více nástrojů LXI. Na základě úrovně synchronizace se také dělí LXI zařízení do 3 tříd. Základní C třída je definována všemi předchozími znaky ale neřeší synchronizaci. Třída B navíc obsahuje definici protokolu IEEE 1588, ke které třída A přidává ještě fyzickou kabelovou spoušť (WTB-Wired Trigger Bus).



Obrázek 12: Úroveň synchronizace jednotlivých tříd LXI [16]



Obrázek 13: Srovnání parametrů s ostatními standardy [3]

2.5.2. Zhodnocení

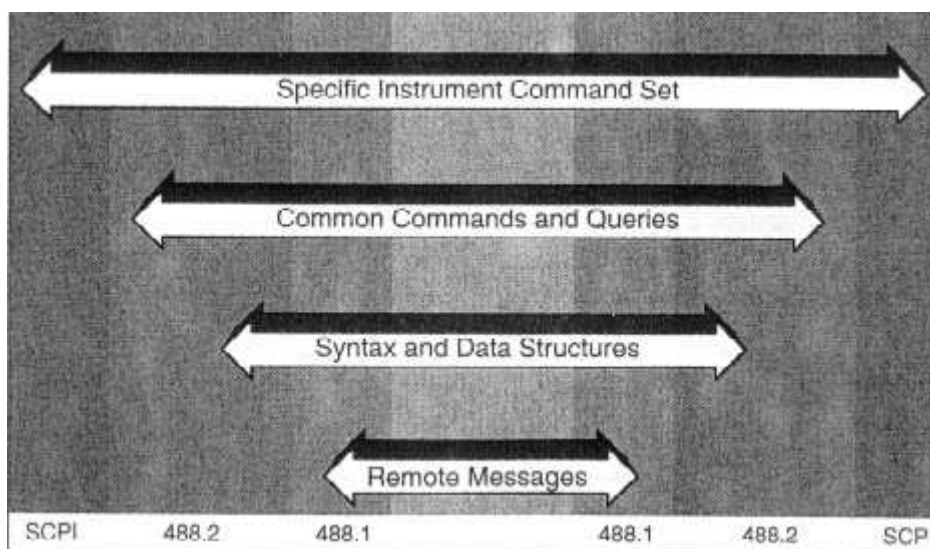
- + Neomezená vzdálenost mezi dvěma zařízeními díky podpůrným zařízením, stejně jako možnost propojování libovolného počtu zařízení do jedné sítě
- + Jednoduchá instalace a ovládání (zařízení lze ovládat takřka bez ovladačů přes webovou aplikaci)
- + Rychlost přenosu dat závisí na použitém ethernetovém standardu, může se pohybovat až do 10Gb/s (v praxi to bude samozřejmě záležet na konkrétní situaci)
- + Nízké náklady
- + zpětná kompatibilita se všemi předchozími standardy
- nejhorší odezva ze všech standardů

3. Standardy pro programování zařízení

K tomu aby bylo možné přes jednotlivé typy sběrnic zajistit ovládání mezi počítači a testovacími a měřicími zařízeními, bylo potřeba vymyslet jednotný systém příkazů, jejich syntaxi a plně zajistit jejich podporu a kompatibilitu jak se softwarovým tak i hardwarovým vybavením. O to se starají opět sdružení (konsorcia) velkým firem, které postupně vydávají jednotlivé specifikace pro programování přístrojů v automatizovaných systémech.

3.1. IEEE 488.2 Common Commands

V roce 1975, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardizoval sběrnici GPIB jako **IEEE-488** (v novější revizi pak **IEEE-488.1**), která zformulovala mechanické elektrické a základní protokolové parametry sběrnice GPIB. V roce 1987, pak IEEE představila **IEEE-488.2**, která definuje minimální soubor možností rozhraní IEEE 488.1, které nástroj musí mít. Všechna zařízení musí být schopna odesílat a přijímat data, požadovat služby, a reagovat na zařízení. **IEEE-488.2** přesně definuje formát příkazů nástrojů a formát a kódování odpovědí zaslaných nástrojů.



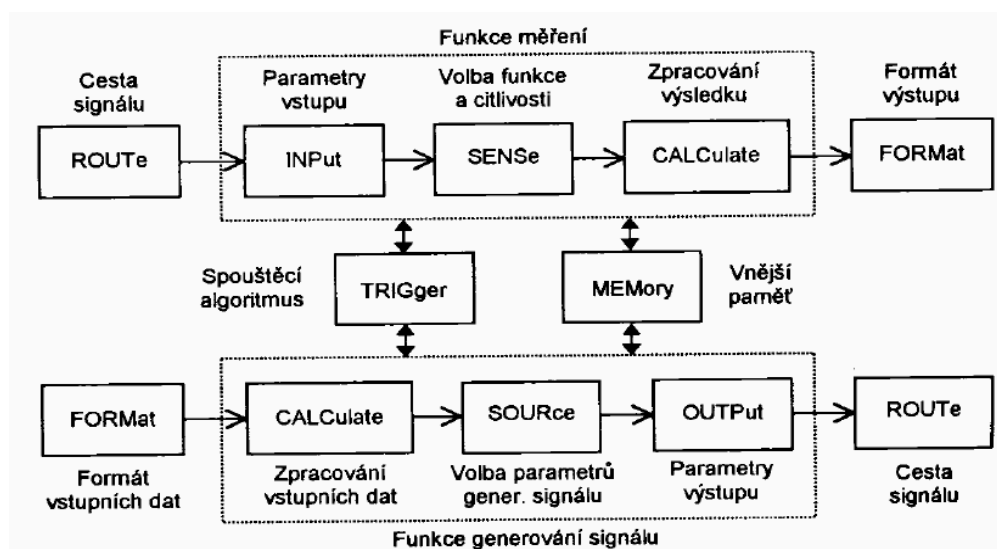
Obrázek 14: Vývoj GPIB programovacích příkazů [17]

Příklad některých nejpoužívanějších:

- | | | |
|---------------|---|-----------------------|
| * IDN? | - | Identifikační dotaz |
| * RST | - | Reset |
| * TST? | - | Self-test dotaz |
| * WAI | - | Počkejte na dokončení |
| * CLS | - | Clear status |

3.2. Příkazy SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)

V roce 1990 byl tento standard vydán SCPI konsorciem jako další vrstva již definovaného standardu IEEE 488.2. Standard SCPI (často nazýván "skippy") je souhrn příkazů a pravidel pro komunikaci mezi řídící jednotkou a přístrojem v automatizovaném měřicím systému. SCPI zahrnuje standardní sady příkazů pro několik tříd zařízení jako jsou zdroje napětí, či měřicí zařízení, např. voltmetry a osciloskopy. SCPI standard je postaven na základech IEEE-488.2, standardních kódech a formátech. Potřebuje shodu s IEEE-488.2, ale je to ryze softwarový standard. SCPI syntax je z ASCII textu, a proto může být aplikován na jakémkoliv počítačový jazyk jako je BASIC, C, nebo C++. Také může být použit v prostředích testovacích aplikací jako jsou LabWindows/CVI, LabVIEW, nebo HP VEE. SCPI je hardwarově nezávislý. SCPI příkazové řetězce mohou být posílány přes jakékoliv přístrojové rozhraní. Pracuje stejně dobře přes GPIB, RS-232, VXI nebo LAN síť. Přehled příkazů SCPI je uveden vždy v dokumentaci k přístroji včetně ukázek programování.



Obrázek 14: Přístrojový model SCPI [17]

Příklady:

SOURce:VOLTage:LEVel:IMMediate:AMPLitude 5 - nastaví na zdroji napětí 5V.
SOURce:CURRent:LEVel:IMMediate:AMPLitude 1 - nastaví na zdroji proud 1A.
Tyto dva příkazy lze zapsat i ve zkrácené formě **SOURce:APPLy 5, 1** - tyto zkrácené zápisy jsou specifické pro daný typ přístroje.

Pro postup ve stromu příkazů je vždy použit znak ":" a pro tu samou větev ";". Znak "?" na konci příkazu znamená, že přístroj vrací měřenou hodnotu případně ji uloží do fronty k přečtení. Celý řetězec bývá ještě vložen mezi uvozovací znaky - "MEASure:RESistance?". Malá písmena jsou nepovinná. Jejich účel je pouze dělat kód čitelný.

3.3. Komunikační knihovna VISA

Virtual Instrument Software Architecture, běžně znám pod pojmem komunikační knihovna **VISA**, je vstupně/výstupní aplikační programovatelné rozhraní, široce používané v testovacím a měřicím průmyslu pro komunikaci přístrojů s počítači. VISA je průmyslový standard implementovaný několika T&M společnostmi, jako jsou Rohde&Schwarz, Agilent Technologies, National Instruments, Tektronix a Kikusui. Zatímco nezávislost na typu měřicího přístroje částečně řeší dnes již běžný standard SCPI, knihovna VISA napomáhá vytvářet programy nezávislé na operačním systému počítače a na použitém interfejsu.

Vnitřní architektura knihovny je založena na nejmodernějším objektově orientovaném modelu, což jí dává, ve srovnání s dosud používaným ovládacím software, možnost větší nastavitelnosti, rozšiřitelnosti a užitečnosti. Jde o Technologii COM (Component Object Model) zavedenou firmou Microsoft. Zjednodušeně to je soubor softwarů, zahrnující potřebné informační zdroje a metody pro realizaci řešeného úkolu. Hlavní výhodou objektu COM je možnost přistupovat k objektu z různých, navzájem nekompatibilních vývojových prostředí a jazyků. Specifikace VISA COM vychází z dokumentu VPP – 4.3.4 aliance VXI plug&play.

Objekt COM je množina funkcí definovaná nad základním objektem IUnknown. To znamená, že každý objekt COM nainstalovaný v operačním systému může přistupovat k základním funkcím objektu IUnknown, což je rozhraní – pohled, kterým je možné se na objekt COM dívat. Většina pohledů na objekt VISA COM poskytuje čtyři základní rozhraní pro práci s měřicími prostředky. Jedná se o rozhraní IVisaSession, IEventManager, IBaseMessage a IMessage.

VISA COM je součástí instalace Agilent I/O Libraries. VISA COM I/O Library podporuje několik typů rozhraní. Jednotlivé zdroje (měřicí karty, měřicí přístroje apod.) jsou rozlišeny adresovacím řetězcem zařízení. VISA COM podporuje následující zdroje:

GPB::INSTR – měřicí přístroj připojený přes rozhraní GPB;

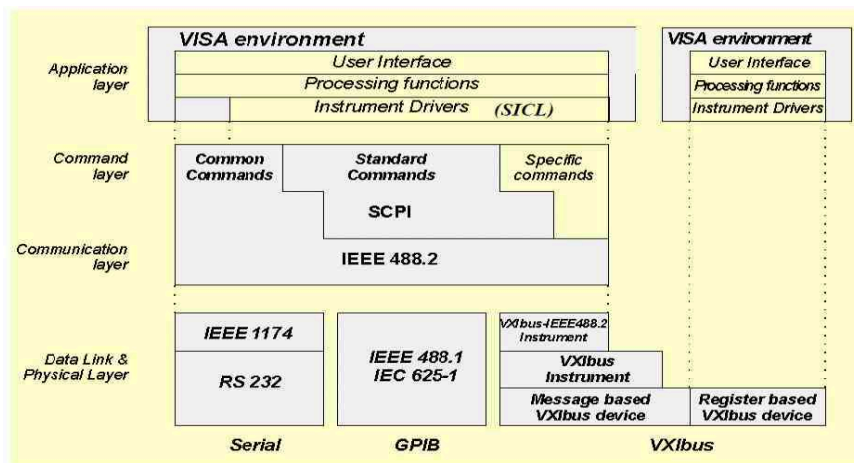
GPB::INTFC – měřicí rozhraní GPB;

TCPIP::INSTR – měřicí přístroj připojený přes síťové rozhraní;

TCPIP::SOCKET – síťové spojení mezi počítači;

ASRL::INSTR – měřicí přístroj připojený přes sériovou linku RS-232;

USB::INSTR – měřicí přístroj připojený přes rozhraní USB.



Obrázek 16: Standardy automatizovaných testovacích systémů [18]

Ačkoliv nynější verze specifikace VISA definuje knihovnu pro ovládání vstupních a výstupních operací, je plně rozšiřitelná daleko za tyto hranice. Vzhledem k velké flexibilitě vložené do vnitřní architektury knihovny představuje knihovna VISA, ve smyslu funkčnosti a použitelnosti, sjednocení všech dosud používaných programových knihoven pro ovládání vstupně / výstupních operací.

Místo měření realizovaného například v prostředí LabWindows/CVI nebo v prostředí LabView lze k měřicímu přístroji přistoupit přímo z tabulkového editoru MS Excel prostřednictvím objektu VISA COM. Poté je možné využívat jak funkce objektu VISA COM, tak i všech možností zpracování údajů, které MS Excel nabízí.

```
' Globální proměnné
'
' Agilent Vendor-Specific Resource Manager a VISA Session
Dim oAgilentResMan As VisaComLib.ResourceManager
Dim oSession As VisaComLib.IMessage
' Proměnná pro textové návratové hodnoty
Dim strIdn As String
' Řádek, na kterém začíná výpis hodnot v tabulce MS Excel
Dim iActRow As Integer

Sub tlačítko1_Klepnout()
' Tlačítko Connect - Připojení přístroje

' Vytvoření Agilent-Specific VISA Resource Manager
Set oAgilentResMan = New AgilentRMLib.SRMClas
' Otevření VISA Session
' Návratová hodnota funkce Open je IVisaSession, jelikož hodnotu
' přiřazujeme do rozhraní IMessage, dochází k implicitnímu přetypování
Set oSession = oAgilentResMan.Open(Range("B3"))
' Dotaz na identifikaci přístroje
oSession.WriteString ("*IDN?")
' Čtení návratové hodnoty
strIdn = oSession.ReadString(1000)
' Odstranění znaku Enter ("\n") na konci řetězce
strIdn = Left(strIdn, Len(strIdn) - 1)
' Zapsání hodnoty do pole B5 v tabulce
Range("B5").Value = strIdn
' nastavení řádku, na kterém bude začínat zápis naměřených hodnot
iActRow = 0
End Sub

Sub tlačítko2_Klepnout()
' Tlačítko GetV - Odměr hodnoty

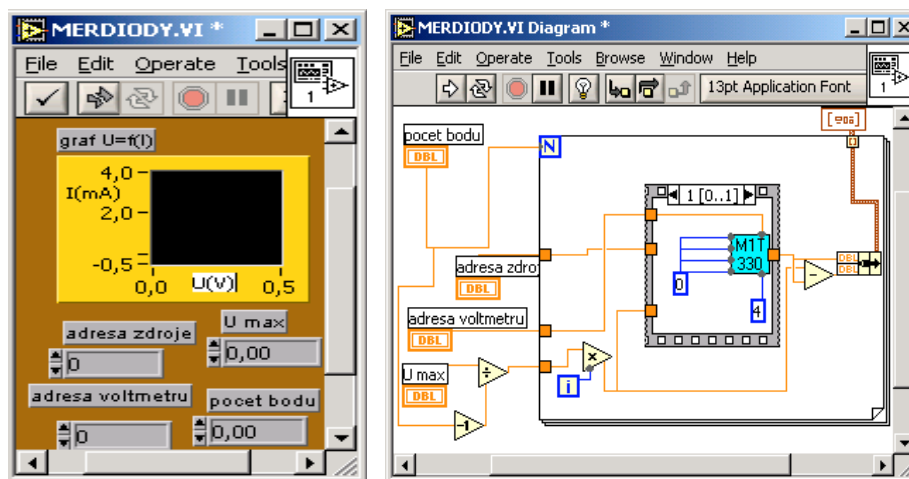
' Příkaz pro odměření hodnoty
oSession.WriteString ("MEASURE:VOLTage:DC?")
' Čtení hodnoty
strIdn = oSession.ReadString(1000)
' Odstranění znaku Enter ("\n") na konci řetězce
strIdn = Left(strIdn, Len(strIdn) - 1)
' Vložení čísla odměru do tabulky MS Excel
Cells(iActRow + 5, 8).Value = iActRow
' Vložení naměřené hodnoty do tabulky
Cells(iActRow + 5, 9).Value = strIdn
' Posun na další řádek
iActRow = iActRow + 1
End Sub
```

Obrázek 17: Kód pro realizaci měření knihovnou VISA COM v aplikaci Excel [20]

3.4. LabVIEW

Grafické programovací prostředí **LabVIEW** (z angl. **L**aboratory **V**irtual **I**nstruments **E**ngineering **W**orkbench čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“) je produktem americké firmy National Instruments. Bylo představeno v roce 1986 a určeno pro měření a automatizaci a postupně se rozrostlo do řady oborů. Prostředí LabVIEW je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování velmi složitých systémů, jakým je třeba robot. Toto grafické prostředí dovoluje technikům používat při tvorbě měřicích, řídicích a automatizačních systémů ikony namísto řádků textu. Na rozdíl od textových jazyků, které využívají posloupnost instrukcí, se v prostředí LabVIEW využívá programování na principu datového toku (data flow model), kde je způsob toku dat procházejících uzly v blokovém diagramu určován propojením funkcí vodiči.

Programy v LabVIEW se nazývají virtuální přístroje nebo VI, protože svým vzhledem a činností jsou obdobou skutečných přístrojů, jako jsou např. osciloskopy a multimetry. K vytváření takových programů obsahuje LabVIEW širokou sadu nástrojů pro čtení, analýzu, zobrazení a ukládání dat a také nástroje pro hledání a odstraňování chyb v programu. V LabVIEW vytváříme uživatelské rozhraní programu pomocí ovládacích prvků a indikátorů – k tomu slouží tzv. čelní panel). Ovládací prvky jsou otočné knoflíky, tlačítka, stupnice a další vstupní zařízení. Indikátory se rozumí grafy, LED diody a jiné zobrazovače. Po vytvoření čelního panelu přidáme programový kód, který čelní panel řídí. Programový kód se zapisuje (resp. kreslí) do okna blokového diagramu. LabVIEW využijete i při komunikaci se zařízeními pro sběr dat, zpracování obrazu, vizuální kontrolu, řízení pohybu, PXI, VXI, přes sběrnice GPIB, RS-232 a RS-485. Také lze rovněž snadno volat kód z tradičních textových jazyků. Uživatelé LabVIEW mohou volat kód převedený do dynamické knihovny DLL nebo do sdílené knihovny a integrovat externí kód a aplikace prostřednictvím softwarových technologií, např. ActiveX nebo .NET. To umožňuje propojení s programy jako MS Office Excel nebo Matlab.



Obrázek 18: Program na měření charakteristiky diod napsaný v LabVIEW [21]

4. Sestrojení laboratorních úloh

V praktické části zadání bylo úkolem sestavit měřicí síť zahrnující veškeré přístrojové vybavení včetně síťových prvků potřebných k propojení různých typů zařízení. Schéma celé sítě je na obrázku 20.

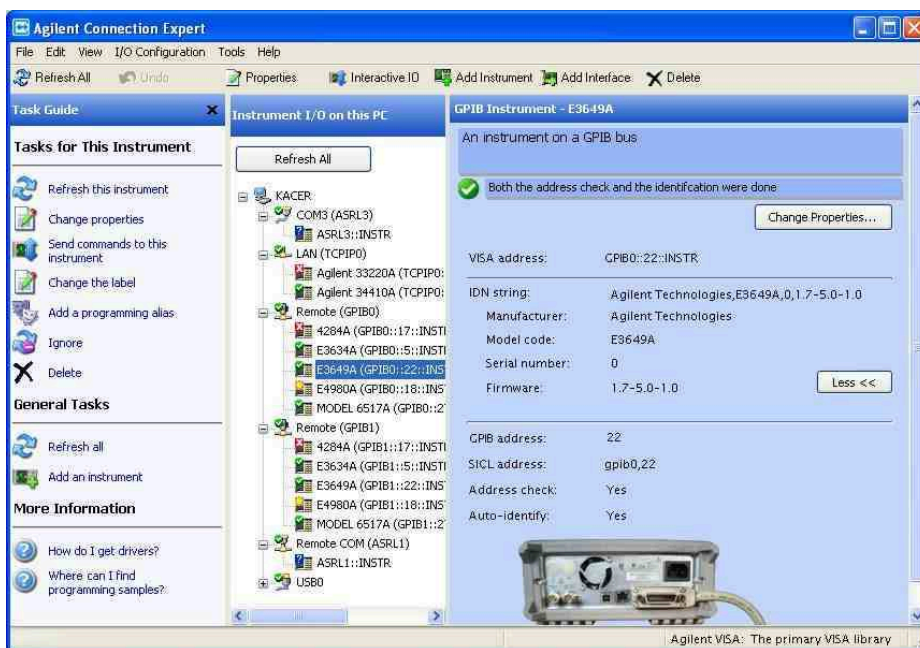


Obrázek 19: Schéma měřicí sítě s vyznačením propojovacích kabelů

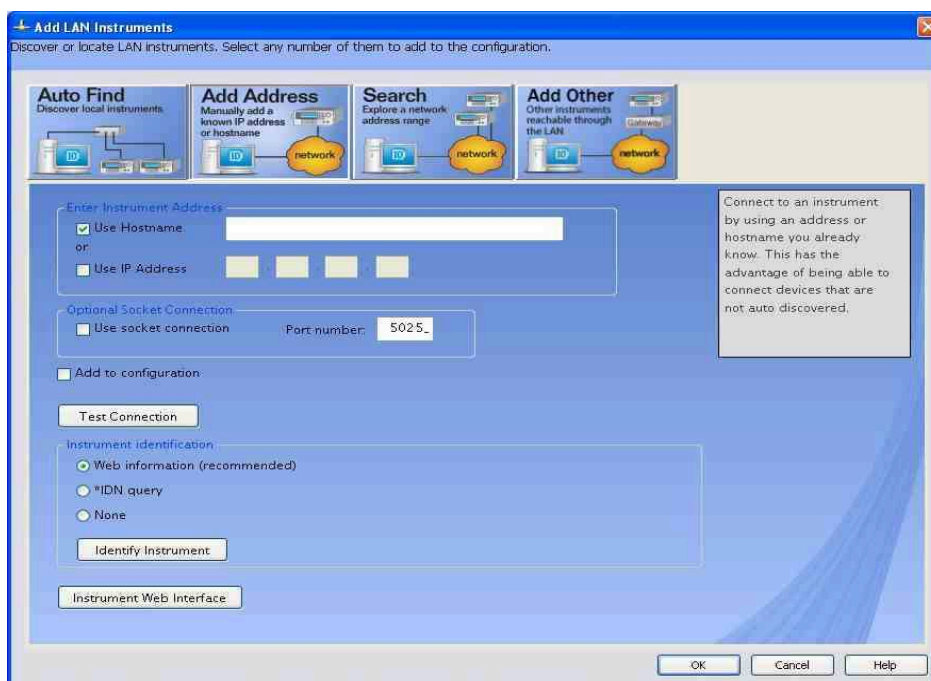
Jako ovládací prvek zde vystupuje stolní počítač nebo případně notebook. Každý přístroj má svoji specifickou VISA adresu, pomocí které komunikuje s ostatními přístroji. Je složena obvykle z IP adresy (v případě LXI zařízení), skupiny zařízení s číselným označením (ASRL1, GPIB0, TCPIP0), čísla jednotky (u GPIB přístrojů) a koncovky INSTR. Tato adresa může vypadat například takto : ASRL3::INSTR nebo GBIP0::14::INSTR.

Ale k tomu aby bylo možné přístrojům tyto adresy přiřadit, musí se nainstalovat do počítače VISA I/O knihovna. Ta je součástí instalačního balíku Agilent IO Libraries Suite 15 a novějších. Tento balík obsahuje sadu IO knihoven, které jsou základem pro programovací prostředí jako je C, Visual Basic, LabView nebo VeePro. Po instalaci se vlevo dole na liště objeví ikona Agilent IO Control, která spustí Agilent Connection Expert. To je program jehož pomocí se jednotlivá zařízení vyhledají a připojí do jedné měřicí sítě. Vyhledání přístrojů, v případě že se přístroj nevyhledá automaticky, lze provést ručně podle IP adresy (nebo GPIB adresy), nastavené na jednotlivých přístrojích pomocí předního panelu. U přístrojů zapojených přes LAN bránu E5810A se k vyhledání použije adresa brány a zvolí se typ zařízení.

Na obrázku 20 je hlavní okno Connection Expertu, kde jsou již všechny přístroje nastaveny. Po kliknutí na přístroj se zobrazí aktuální informace, které lze také měnit. Avšak zásadní věci jako jsou adresy se musí shodovat vždy s tím co je nastaveno fyzicky na přístroji, jinak by zařízení nešlo ovládat. Speciálně u zařízení přes rozhraní RS-232 (konkrétně šlo o termostát E20) je třeba dbát na nastavení parity, přenosové rychlosti a zakončujících znaků na konci každého příkazu (obvykle je tento znak nastaven na "/n", ale aby RS-232 komunikoval je třeba ho změnit na "/r/n"). Přes nabídku Interactive IO, kde se nachází toto nastavení lze posílat příkazy SCPI nebo ty, které ten daný přístroj podporuje a tím ověřit funkčnost.



Obrázek 20: Hlavní nabídka Connection Expert



Obrázek 21: Ruční vyhledání přístroje LAN

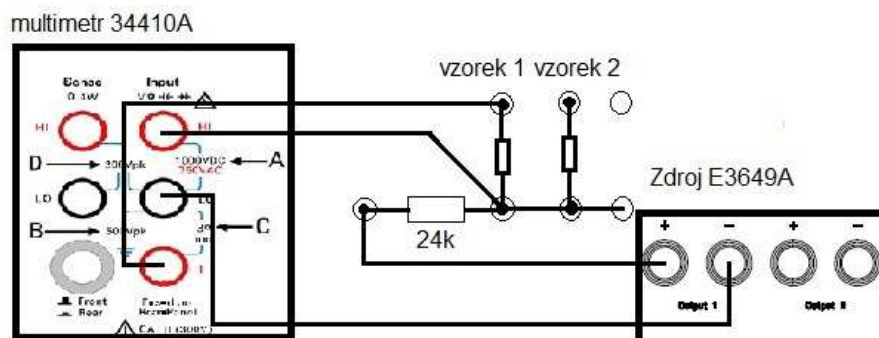
4.1. Měření teplotní závislosti rezistivity polovodičového materiálu

Tato úloha je vybrána z bakalářského studijního programu předmětu BEMV. Cílem bylo vytvořit uživatelské rozhraní k proměření teplotní závislosti odporů vzorků polovodičových materiálů o známých rozměrech, pomocí kterých se dopočítá pro jednotlivé teploty rezistivita. Z hodnot rezistivity pak uživatelé mohou dále počítat podle zadání úlohy.

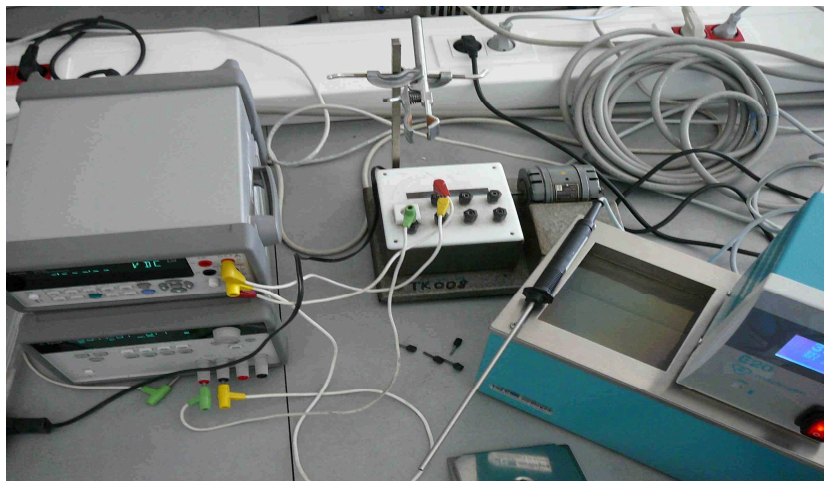
4.1.1. Specifikace použitého hardwaru/softwareu

Pro tuto úlohu byly použity následující přístroje: Zdroj napětí Agilent E3649A, multimetr Agilent 34410A, Termostat medingen E20, brána LAN/GPIB E5810A a školní PC. Úloha byla zrealizována v programu Agilent VeePro 8.5, založeném na OI knihovnách z balíku Agilent IO Libraries Suite 15, ve spojení s programem Microsoft Office Excel 2007.

Na obrázku 20 je schéma zapojení. Držák, na kterém jsou upevněny vzorky se umístí do komory s vodou vyhřívanou termostatem E20. Ten je připojen přes LAN/GPIB bránu E5810A stejně jako zdroj E3649A. Brána, PC a multimetr jsou připojeni do switche.



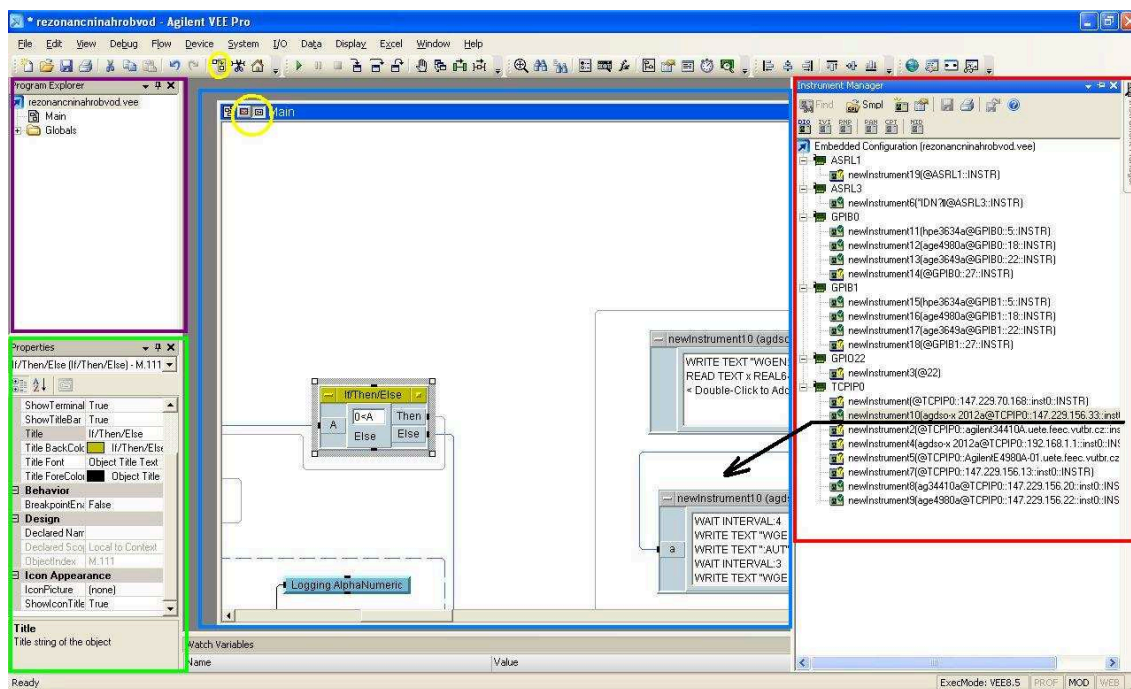
Obrázek 22: Schéma zapojení



Obrázek 23: Pohled na přístroje a držák se vzorky

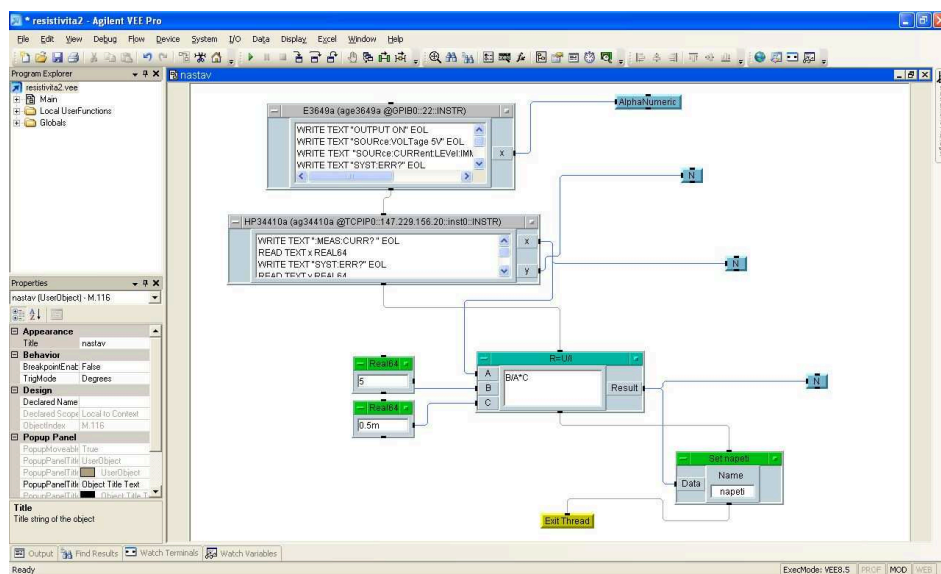
4.1.2. Programování úlohy

Pro sestavení úlohy jsem si vybral prostředí Agilent VeePro 8.5. To využívá tzv. "IO objektů" s SCPI nebo IEEE 488.2 příkazy k instrumentaci jednotlivých zařízení. Díky předchozímu vyhledání přístrojů pomocí Connection Experta se při spuštění v nabídce "instrument manager" (na obrázku červeně označen) po kliknutí na ikonu s názvem find zobrazí veškerá zařízení a jsou ihned k dispozici přetažením myši na pracovní plochu "main" (modře označená). Žlutě zakroužkované ikony na pracovní ploše slouží k přepínání mezi pohledem na strukturu programu a uživatelským panelem. Žlutě označená ikona v panelu nástrojů pak slouží ke zviditelnění jednotlivých objektů na uživatelském panelu. Vlevo je fialově označen strom jednotlivých částí programu, kde jsou všechny použité prvky zahrnující IO objekty, globální a lokální proměnné, uživatelem vytvořené funkce, tlačítka, nadpisy atd. Vlevo dole je zeleně označena nabídka, kde lze po kliknutí na prvek v pracovní ploše měnit jeho parametry, popis, styly písma atd.



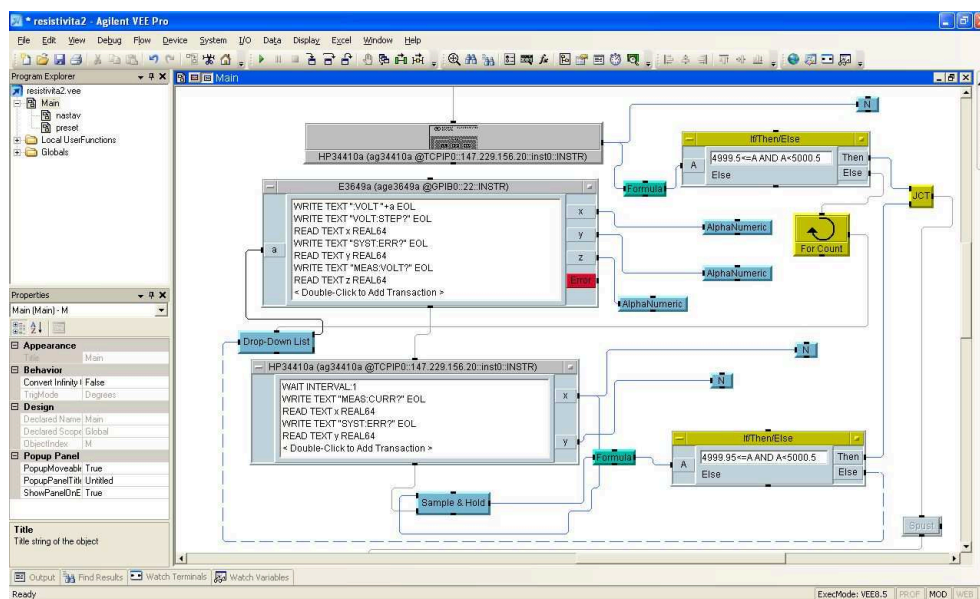
Obrázek 24: Hlavní okno Agilent VeePro 8.5

Při sestrojování této úlohy jsem si ji rozložil na několik částí. První část obsahovala počáteční nastavení proudu vzorkem co nej přesněji kolem $500\text{ }\mu\text{A}$. To jsem docílil nastavením napětí 5 V a proudu 1 mA na zdroji. Ihned po nastavení hodnoty na zdroji se změřil proud vzorkem na multimetru a z této naměřené hodnoty se pomocí jednoduchého vzorce z Ohmova zákona dopočítala hodnota napětí na zdroji (proud ze zdroje zůstává konstantní) potřebná k tomu aby vzorkem tekla proud $500\text{ }\mu\text{A}$. Dopočtená hodnota napětí je ihned nastavena na zdroji, takže proudem protéká požadovaný proud.



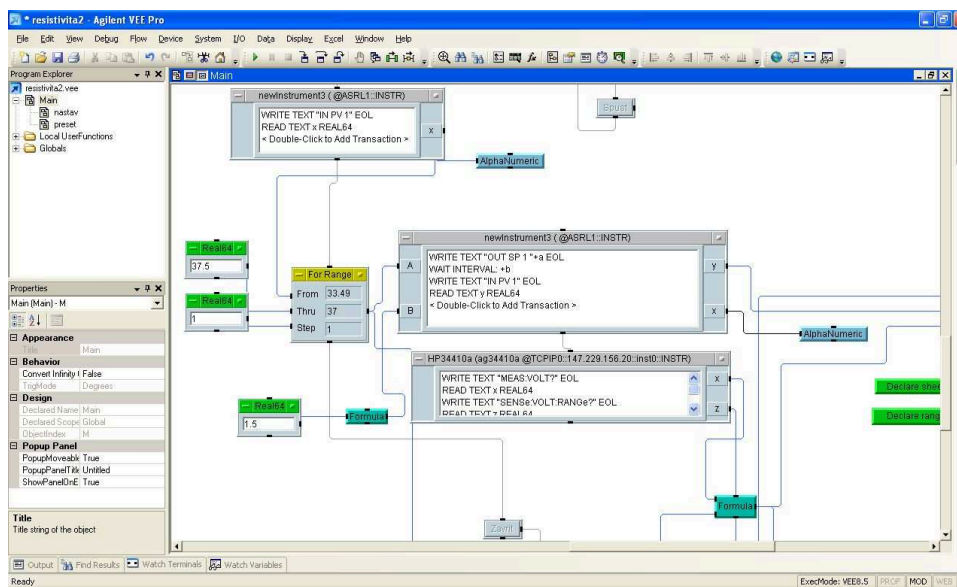
Obrázek 25: První část programu

Další částí byla korekce nastavení napětí na zdroji aby vzorkem protékal požadovaný proud s co nejmenší odchylkou. Zde sem použil smyčku IF/THEN/ELSE a po nejmenším možném kroku 1.125 mV jsem nechal napětí postupně upravovat dokud se hodnota proudu na vzorku nedostala do rozmezí 499,95 - 500,05 μ A. Toto vše probíhá automaticky během několika vteřin a uživatel po spuštění úlohy do nastavení proudu vzorkem nijak nemusí zasahovat.



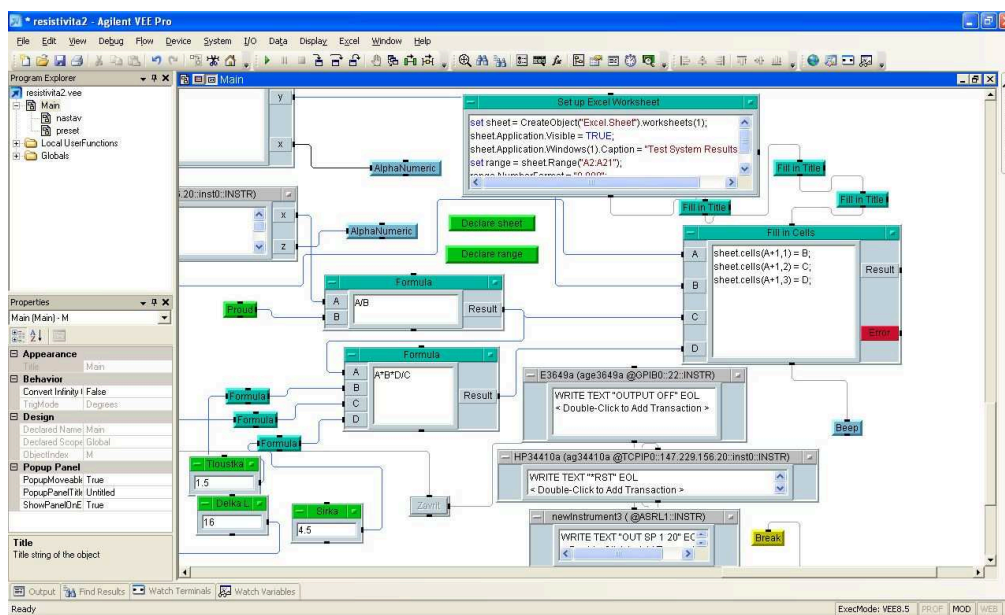
Obrázek 26: Druhá část programu

Třetí částí bylo zahájení měření změny napětí vzorkem multimetrem v závislosti na teplotě vody v komoře, kde bude umístěn vzorek. Opět sem použil smyčku, tentokrát ale pro uživatelem zadaný rozsah teplot a velikost kroku (For Range). Navíc si ještě uživatel volí dobu, po kterou je vzorek ohříván aby se důkladně prohřál.



Obrázek 27: Třetí část programu

Poslední část se pak postará o zapsání výsledků měření do excelu a uvedení přístrojů po skončení měření do původního stavu. Před začátkem měření se ještě zadávají rozměry vzorku aby se mohla dopočítat z naměřeného napětí kromě odporu rovnou i rezistivita a také se zapsala do excelu.



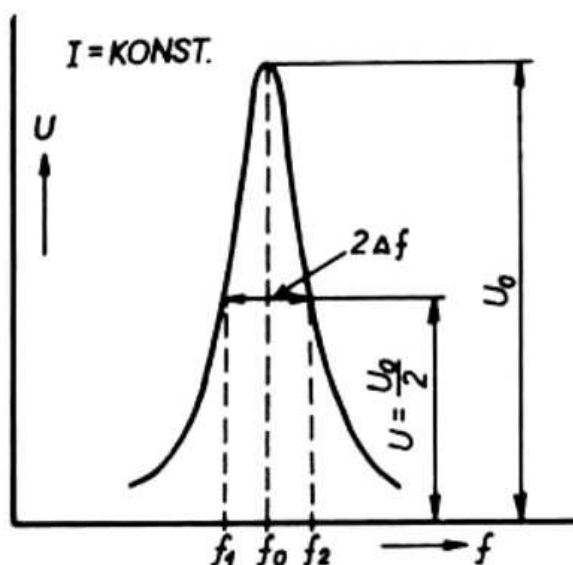
Obrázek 28: Čtvrtá část programu



Obrázek 30: Výstupní soubor v excelu

4.2. Měření náhradního obvodu piezoelektrického rezonátoru

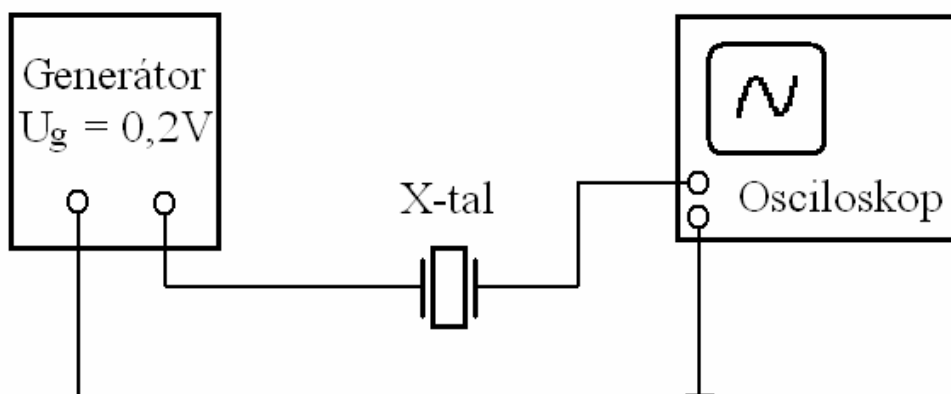
Tato úloha je vybrána z diplomové práce Bc. Vojtěcha Vomočila z roku 2010. Jejím cílem bylo najít rezonanční frekvenci náhradního obvodu piezoelektrického rezonátoru a nalézt parametr $2\Delta f$ a určit frekvence f_1 a f_2 . S těmito hodnotami pak bude uživatel dále pracovat podle zadání.



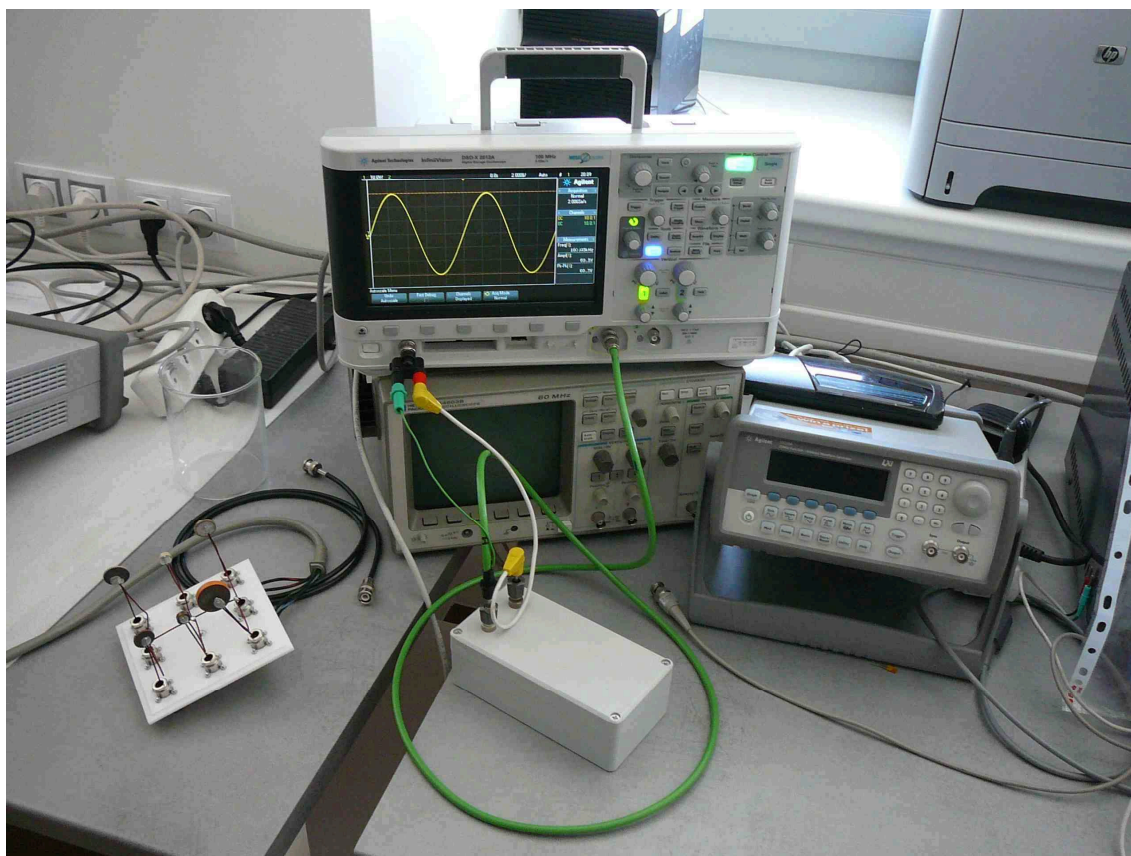
Obrázek 31: Rezonanční křivka [19]

4.2.1. Specifikace použitého hardwaru/software

Pro sestrojení úlohy byl použit nový přístroj DSO-X-2012A, který zastává jak funkci generátoru tak funkci osciloskopu, protože je ale v základním provedení bez ethernetového portu musela se dokoupit redukce. Tak bylo možné zapojit osciloskop do switche a ovládat ho pomocí počítače přes internet. Náhradní obvod piezoelektrického rezonátoru o známé rezonanční frekvenci 100 kHz.



Obrázek 32: Schéma zapojení [19]

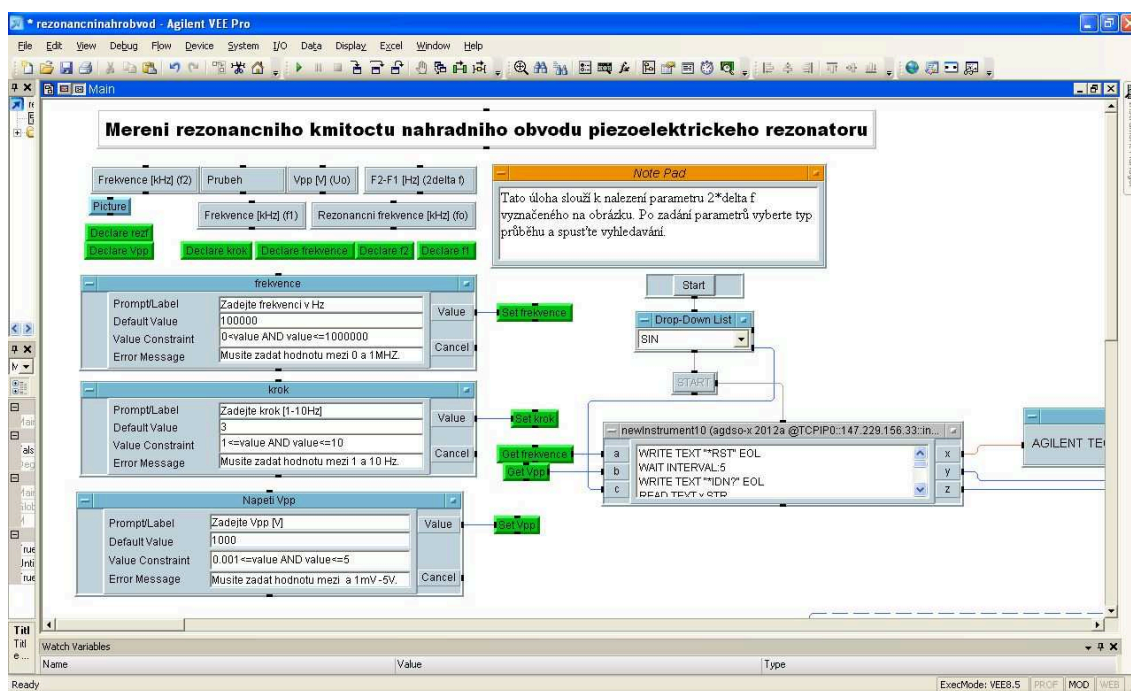


Obrázek 33: Pohled na přístroj a náhradní obvod piezoelektrického rezonátoru

4.2.2. Programování úlohy

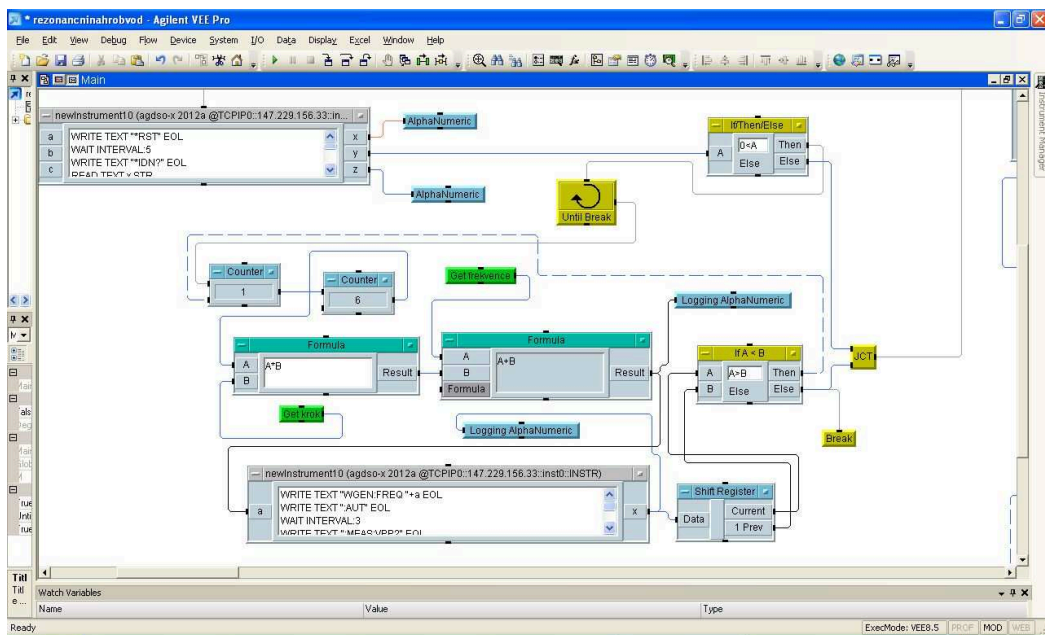
Pro strojení úlohy byl ovládán přístroj DSO-X-2012 SCPI příkazy, tak aby našel parametry f_0 , f_1 , f_2 , které představují jednotlivé rezonanční frekvence určující hledaný rozsah $2\Delta f$ daného náhradního obvodu piezoelektrického rezonátoru, jak je znázorněno na obrázku 29. Princip této úlohy je založen na sedmi hodnotících smyčkách, které se starají o nalezení jednotlivých parametrů v pořadí f_0 , f_2 , f_1 . Chod programu by se dal přirovnat ke běžce trati se spoustou trestných okruhů. Záleží jen na vhodně zvoleném kroku a rezonanční frekvence se najde v řádu několika minut. Zadáání frekvencí je velice rychlé, ale během proměřování V_{pp} je třeba neustále upravovat měřítko aby se nepřekročil rozsah, když se frekvence blíží rezonanci, příkazem **:AUToscale** což vyžaduje 2 vteřiny. A tak jeden cyklus zadání hodnoty na generátoru a její proměření a porovnání trvá právě tak dlouho.

První částí je zadávání vstupních parametrů charakterizujících obvod. Těmi jsou amplituda (V_{pp}) signálu, frekvence v hertzech, velikost kroku, po kterém se bude měnit frekvence při hledání rezonančního kmitočtu a typ průběhu v tomto případě je to sinusový průběh. Díky objektu real64 input lze zadávání parametrů jednoduše ošetřit zavedením omezení hodnot pro případ překlepů a zamezením tak chybám přístrojů. Krok je omezen na 1-10 Hz, frekvence nesmí být nulová a maximálně 1 MHz a amplituda 1 mV až 5 V. Tyto hodnoty se uloží a použijí ve vyhodnocovacích cyklech.



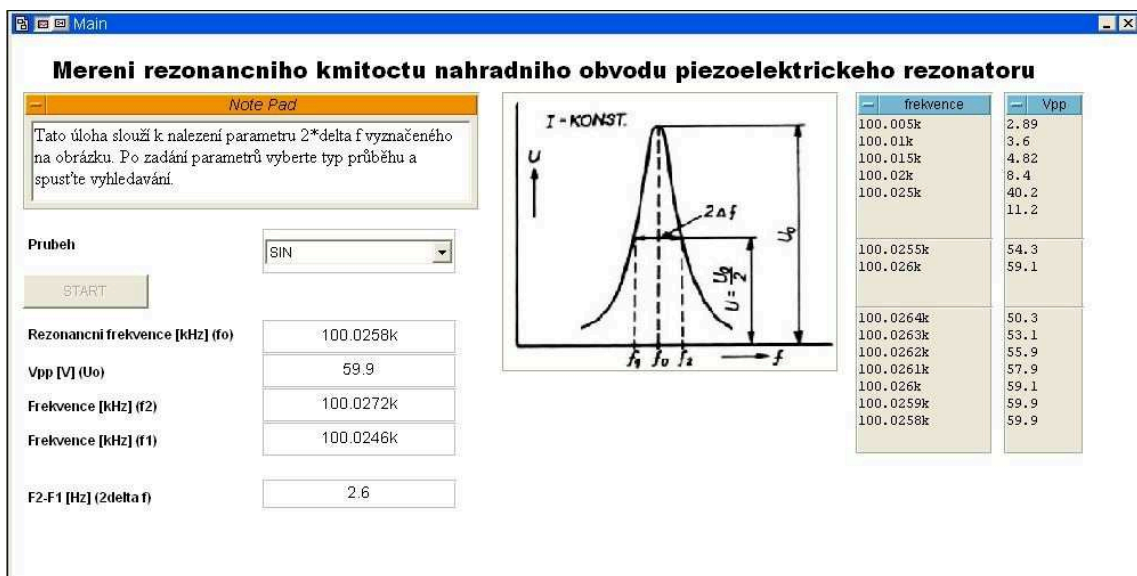
Obrázek 34: Zadávací část programu

V další části, která následuje po stisknutí tlačítka start, se nastaví na generátoru zadávané parametry a zapne se jeho výstup, takže na vstupu osciloskopu již dostaneme hodnotu V_{pp} pro 100 kHz, poté začíná první hodnotící smyčka IF/THEN/ELSE. Zde se vyhodnotí zda je V_{pp} nenulový, jestli ano nastaví se na generátoru o jeden krok větší frekvence a změří se hodnota V_{pp} , která porovná se z předchozí. A když je větší tak se pokračuje dokud se nedosáhne frekvence kdy se začne již zmenšovat. V tom případě se cyklus přeruší a nastaví se poslední frekvence, u které se V_{pp} zvýšilo. Pak se dalším zvyšování frekvence tentokrát již pevně nastaveným na 0,5 Hz opakuje stejná smyčka, ale při překročení bodu maximální rezonance se již nenastavuje zpět předchozí frekvence, ale rovnou se další smyčkou s nejjemnějším možným krokem 0,1 Hz odčítá dokud se nedosáhne právě překročení, pak se nastaví předchozí frekvence s nejvyšší amplitudou a to je hledaná f_0 , která se po nalezení ihned zobrazí a uloží jako vstupní parametr pro další smyčky.



Obrázek 35: Ukázka hodnotící smyčky

Po nalezení f_0 se uloží příslušná amplituda a frekvence se opět začne zvyšovat až do bodu, kdy bude dosaženo frekvence s hodnotou poloviny amplitudy f_0 a to pomocí dvou smyček jedna s krokem 0,2 Hz a druhá s krokem 0,05 Hz, která naopak frekvenci snižuje až dojde k překročení porovnávací hodnoty první smyčkou a uloží poslední frekvenci vyhovující podmínce. Tato frekvence je f_2 . Analogicky další dvě smyčky pak odečítáním hrubším krokem 0,5 Hz a následně přičítáním jemným krokem 0,05 Hz vyhledají zbývající f_1 a uloží. Rozdíl hodnot $f_2 - f_1$ je pak hledaný parametr $2\Delta f$.



Obrázek 36: Uživatelské rozhraní

5. Závěr

Cílem této práce mělo být v teoretické části studium problematiky vzdáleného přístupu a ovládání přístrojového vybavení, jež bylo náplní i předchozí mojí práce v semestrálním projektu 2. A v praktické části sestrojení vybraných laboratorních úloh za využití nastudovaných technologií.

V teoretické části sem prostudoval jednotlivé standardy sběrnic, se kterými se člověk běžně dostane do styku a shrnul sem jejich přednosti a nedostatky. Také sem se seznámil se způsoby ovládání přístrojů pomocí sad příkazů IEEE 488.2 a SPCI. V praktické části sem využil standardu LXI k sestrojení měřicí LAN sítě, obsahující různé typy přístrojů. Pomocí této sítě ovládané přes počítač jsem v programovacím rozhraní Agilent VeePro 8.5 vytvořil laboratorní úlohy, které usnadňují a zrychlují měření a umožňují i dálkové měření přes internet. Celá práce se tedy skládá z teoretického úvodu, rychlého návodu k vytvoření a nastavení měřicí LXI sítě a dvou naprogramovaných materiálů zaměřených úloh vytvořených pro konkrétní přístrojové vybavení. CD obsahuje i potřebné softwarové ovladače.

6. Seznam použitých zkratek

Auto-MDIX	<i>(automatic medium-dependent interface crossover)</i> - počítačová síťová technologie, která automaticky detekuje typ připojeného kabelu.
CAMAC	<i>(Computer Automated Measurement And Control)</i> - standard sběrnice k získávání dat a řízení, užívaná v průmyslu např. nukleární fyzice.
CIC	<i>(Controller In Charge)</i> - aktuálně pověřený řídicí prvek (počítač) zastávající úlohu systémového správce posílaných zpráv
CRC	<i>(Cyclic Redundancy Check)</i> - kód sloužící ke kontrole přenesených dat
DHCP	<i>(Dynamic Host Configuration Protocol)</i> - aplikační protokol z rodiny TCP/IP. Používá se pro automatické přidělování IP adres jednotlivým osobním počítačům v počítačových sítích
DNS	<i>(Domain Name System)</i> - hierarchický systém doménových jmen, kterým si servery DNS vyměňují informace, úkolem a příčinou jeho vzniku jsou vzájemné převody doménových jmen a IP adres uzlů sítě.
EIA	<i>(Electronic Industries Alliance)</i> - sdružení společností vydávající standardy zaručující kompatibilitu zařízení/vybavení od různých výrobců
GPB	<i>(General-Purpose Interface Bus)</i> - paralelní sběrnice pro přenos dat s přístroje do přístroje nebo do počítače
IEC	<i>(International Electrotechnical Commission)</i> - mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	<i>(Institute of Electrical and Electronic Engineers)</i> - institut určující elektronické standardy
IVI	- ovladač díky němuž je zařízení schopno komunikovat s jakýmkoliv programovacím rozhraním.
LAN	<i>(Local Area Network)</i> - místní počítačová síť
LXI	<i>(Lan eXtensions for Instrumentation)</i> - specifikace pro přístroje podporující ethernet definující jejich interakce vzhledem k různým rozhraním
M-LVDS	<i>(Low-Voltage Multipoint Differential Signaling)</i> - signál s 8 nezávislými kanály umožňující komunikaci na dlouhé vzdálenosti, signál je vysoce odolný s minimálním rušením.
MXI	- standard kabelu na propojování měřících systémů VXI, PXI
NRZI	<i>(Non Return to Zero Invert)</i> - typ kódování přenosu
PCI	<i>(Peripheral Component Interconnect)</i> - je počítačová sběrnice pro připojení periférií k základní desce, která není omezená jen na platformu osobních počítačů PC
PXI	<i>(PCI eXtensions for Instrumentation)</i> - modulární systém pro měření a automatizaci založený na PCI sběrnici
RS-232	<i>(Recommended Standard 232)</i> - standard pro sériové binární datové spojení mezi DTE (Vybavení datového terminálu) a DCE (Datové komunikační vybavení)

SCPI	<i>(Standard Commands for Programmable Instruments)</i> - souhrn příkazů a pravidel pro komunikaci mezi řídicí jednotkou a přístrojem v automatizovaném měřicím systému, nezávislý na technickém řešení ani na technickém protokolu přenosu dat.
TCP/IP	<i>(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)</i> - rodina protokolů pro komunikaci v počítačové síti internet, určují syntaxi a význam jednotlivých zpráv při komunikaci.
URL	<i>(Uniform Resource Locator)</i> - řetězec znaků s definovanou strukturou, který slouží k přesné specifikaci umístění zdrojů informací na internetu
USB	<i>(Universal Serial Bus)</i> - universální sériová sběrnice
VISA	<i>(Virtual Instrument Software Architecture)</i> - je aplikační programovací rozhraní pro ovládání testovacích a měřicích zařízení, obsahuje vstupní a výstupní knihovny umožňující sjednocení softwaru vyvinutém jinými dodavateli pracovat na jednom systému.
VME	<i>(Versa Module Europe Bus)</i> - měřicí přístroje na přídatných kartách zasouváných do hlavního rámu
VXI	<i>(VME eXtensions for Instrumentation)</i> - vylepšená verze VME standardu o synchronizační sběrnici a časovací protokoly
VXI-11	- protokol vytvořený k automatickému připojení přístrojů k počítači
WTB	<i>(Wired Trigger Bus)</i> - název pro sběrnici kabelové spouště určené k synchronizaci zařízení

7. Seznam použité literatury

- [1] The LXI Consortium. History of LXI [online]. 2009 [cit. 2009-12-16]. Dostupný z WWW: <http://www.lxistandard.org/About/History.aspx>.
- [2] ÚSTAV ŘÍZENÍ SYSTÉMŮ A SPOLEHLIVOSTI. *Distribuované průmyslové měřicí systémy* [online]. [cit. 2010-06-04]. Dostupné z WWW: http://www.rss.tul.cz/download/cms/12_distrsyst.pdf
- [3] FAYA, P. *Sběrnice pro měřicí a řídicí systémy* [online]. [cit. 2007-02-11]. Dostupné z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1644>
- [4] STRANGIO, CH. *The RS232 standard* [online]. [cit. 2006-08-17]. Dostupné z WWW: http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html
- [5] OLMR, V. *Sériová linka RS-232* [online]. [cit. 2005-12-12]. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/rs-232#konektory>
- [6] *Automation* [online]. [cit. 2008-02-26]. Dostupné z WWW: <https://secure.engr.oregonstate.edu/wiki/ams/index.php/LabTesting/Automation>
- [7] *GPIB tutorial* [online]. [cit. 2005-04-20]. Dostupné z WWW: <http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/GPIB/tutor.htm>
- [8] Keithley. *Cables and adapters* [online]. [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <http://www.keithley.com/products/accessories/ieee/cables>
- [9] National instruments. *Future of GPIB* [online]. [cit. 2008-10-8]. Dostupné z WWW: <http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/219>
- [10] Ústav řízení systémů a spolehlivosti. *Měřicí systémy se sběrnici VME a VXI* [online]. [cit. 2009-5-13]. Dostupné z WWW: http://www.rss.tul.cz/download/cms/06_VME_VXI.pdf
- [11] Alimar technologies. *HP VXI test equipment* [online]. [cit. 2007-5-02] Dostupné z WWW: <http://www.alimartech.com/HP%20VXI.htm>
- [12] IPP measure. *VXI - otevřené měřicí systémy* [online]. [cit. 2001-1-10]. Dostupné z WWW: <http://www.ippmeasure.com/clanky/t19.pdf>
- [13] National instruments. *VXI trigger tutorial* [online]. [cit. 2006-7-24].
Dostupné z WWW:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/B7E440E8BD0D50DC862571B5004E6947>
- [14] Hw.cz. *USB - universal serial bus - popis rozhraní* [online]. [cit. 2002-5-07]. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART327-USB---Universal-Serial-Bus---Popis-rozhrani.html>

- [15] Wikipedie. *Universal serial bus* [online]. [cit. 2011-4-12]. Dostupné z WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- [16] AFONSKIY, A., NOVIKOV, A. *LXI standard* [online]. [cit. 2011-4-02].
Dostupné z WWW:
http://www.tmi-s.com/archive/articles/index.php?ELEMENT_ID=28106
- [17] Ústav řízení systémů a spolehlivosti. *GPiB a SCPI* [online]. [cit. 2010-4-13].
Dostupné z WWW:
http://www.rss.tul.cz/download/cms/04_%20GPiB_%20SW.pdf
- [18] *USB/GPiB interface for windows* [online]. [cit. 2005-04-20]. Dostupné z WWW:
<http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/Lab/Present2.pdf>
- [19] VOMOČIL, V. *Měření náhradního obvodu piezoelektrického rezonátoru* [online].
[cit. 20010-05-27]. Dostupné z WWW:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26457
- [20] Automatizace.cz. *MS Excel – jednoduchý prostředek pro sběr dat nejen na sběrnici GPiB* [online]. [cit. 2006-11-11]. Dostupné z WWW:
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1500>
- [21] B324.com. *Elektronická měření* [online]. [cit. 2005-03-15]. Dostupné z WWW:
http://www.b324.com/em/zadani/labview-ovladani-zakl_mp.pdf